

Feuille de route de décarbonation de la filière maritime

Proposition de plan d'action pour décarboner le maritime national, assurer la souveraineté d'approvisionnement de la France

RÉVISION 1

NOVEMBRE 2024



Direction générale
des affaires maritimes,
de la pêche et de
l'aquaculture



SOMMAIRE

1. PRESENTATION DE LA FEUILLE DE ROUTE DE DECARBONATION DU SECTEUR MARITIME	10
1.1. LES FEUILLES DE ROUTE DE L'ARTICLE 301 DE LA LOI CLIMAT ET RESILIENCE	10
1.2. LA FEUILLE DE ROUTE DE DECARBONATION DU SECTEUR MARITIME	10
1.2.1. <i>Gouvernance et démarche de travail</i>	11
1.2.2. <i>Projets et documents sur lesquels s'appuie la FDR 301</i>	12
1.2.3. <i>Les défis à relever pour établir une feuille de route « nationale »</i>	12
2. LA FILIERE MARITIME : UN ROLE ECONOMIQUE DE PREMIER PLAN ET DES ENJEUX MAJEURS DANS LE CADRE DE LA TRANSITION ENERGETIQUE	13
2.1. UNE PLACE DE PREMIER PLAN DANS L'ECONOMIE NATIONALE.....	13
2.2. LES SECTEURS CLES A DECARBONER DE LA FILIERE MARITIME FRANÇAISE	13
2.3. POTENTIEL DES ACTEURS DE LA CHAINE DE VALEUR.....	15
2.4. SEGMENTATION DE LA FLOTTE NATIONALE	16
2.5. ENJEUX DE LA TRANSITION ENERGETIQUE DU SECTEUR MARITIME	16
2.5.1. <i>Le secteur maritime comme enjeu de souveraineté et d'autonomie</i>	16
2.5.2. <i>Enjeux capacitaires et opportunité de développement économique</i>	18
2.5.3. <i>Enjeux concurrentiels et politiques publiques de soutien des pays</i>	19
3. PRESENTATION DES OBJECTIFS CLIMATIQUES FIXES POUR LE SECTEUR	20
3.1. OBJECTIFS ET MESURES AU NIVEAU MONDIAL.....	20
3.2. OBJECTIFS ET MESURES AU NIVEAU EUROPEEN (UE)	21
3.3. NATIONAL	21
3.4. SEGMENTS POUR LESQUELS IL N'EXISTE PAS D'OBJECTIF	22
4. PERIMETRE DES EMISSIONS ET BESOINS EN ENERGIE DU SECTEUR MARITIME	22
4.1. INVENTAIRE DES EMISSIONS DU SECTEUR MARITIME FRANÇAIS	22
4.2. PERIMETRE DE CALCUL DES BESOINS EN ENERGIE, CHOIX DU PERIMETRE DU SCENARIO DE REFERENCE	23
5. PRESENTATION DES LEVIERS DE DECARBONATION	26
5.1. DES LEVIERS ET TECHNOLOGIES SPECIFIQUES A COMBINER PAR TYPE, AUTONOMIE ET TAILLE DE NAVIRE	26
5.2. APERÇU DES PRINCIPAUX LEVIERS DE DECARBONATION	28
5.3. ROLE CLE DE L'ARCHITECTURE NAVALE ET DE L'INTEGRATION DES SOLUTIONS DANS LES CHANTIERS	32
5.3.1. <i>Définition Usages & Performances</i>	32
5.3.2. <i>Conception optimale selon profil d'usage</i>	32
6. TYPOLOGIES DE DECARBONATION PAR TYPE DE FLOTTE	32
6.1. PORTE-CONTENEURS (PC).....	32
6.1.1. <i>Caractéristiques et spécificités des porte-conteneurs</i>	33
6.1.2. <i>Pertinence des différents leviers de décarbonation</i>	33

6.1.3.	<i>Bilan</i>	34
6.1.4.	<i>Scénario de décarbonation</i>	35
6.2.	TRANSPORTEURS DE GAZ	35
6.2.1.	<i>Caractéristiques et spécificités des méthaniers et transporteurs de GPL</i>	36
6.2.2.	<i>Pertinence des différents leviers de décarbonation</i>	36
6.2.3.	<i>Bilan</i>	37
6.2.4.	<i>Scénarios</i>	38
6.3.	GRANDS NAVIRES DE SERVICE	39
6.3.1.	<i>Caractéristiques et spécificités des grands navires de service</i>	39
6.3.2.	<i>Pertinence des différents leviers de décarbonation</i>	40
6.3.3.	<i>Bilan</i>	41
6.4.	GRAND FERRIES (GFE)	42
6.4.1.	<i>Caractéristiques et spécificités des grands ferries</i>	42
6.4.2.	<i>Pertinence des différents leviers de décarbonation</i>	43
6.4.3.	<i>Bilan</i>	44
6.4.4.	<i>Scénarios</i>	44
7.	L'OFFRE DES SOLUTIONS ET CAPACITES INDUSTRIELLES POUR LA DECARBONATION	
	45	
7.1.	CAPACITES INDUSTRIELLES EUROPEENNES POUR UNE POLITIQUE MARITIME EUROPEENNE.....	45
7.2.	PANORAMA DES SOLUTIONS INDUSTRIELLES.....	46
7.3.	OFFRE FRANÇAISE EN LIEN AVEC LES RESULTATS DES SEGMENTS DE FLOTTES ETUDIES	47
8.	TRANSITION DE VECTEURS ENERGETIQUES : LES BIO-CARBURANTS ET E-	
	CARBURANTS	48
8.1.	LES BIOCARBURANTS POUR LE SECTEUR MARITIME	48
8.1.1.	<i>Types de biocarburants adaptés au secteur maritime</i>	48
8.1.2.	<i>Potentiel de production de biocarburants</i>	49
8.1.3.	<i>Utilisation des biocarburants dans le transport maritime aujourd'hui</i>	51
8.1.4.	<i>Des projets qui illustrent le dynamisme de la filière biocarburants en France</i>	52
8.1.5.	<i>Perspectives pour le déploiement des biocarburants maritimes en France</i>	53
8.2.	LES CARBURANTS DE SYNTHÈSE ET LE SECTEUR MARITIME.....	53
8.2.1.	<i>Types de carburants de synthèse adaptés au secteur maritime</i>	54
8.2.2.	<i>Potentiel de production des carburants de synthèse</i>	55
8.2.3.	<i>Utilisation des carburants de synthèse dans le transport maritime</i>	56
8.2.4.	<i>Projets clés en France pour les carburants de synthèse</i>	57
8.2.5.	<i>Défis pour le déploiement des carburants de synthèse dans le maritime</i>	58
9.	SCENARIOS DE DECARBONATION DU SECTEUR MARITIME NATIONAL	59
9.1.	MODELE DE TRANSITION ENERGETIQUE ET DONNEES ASSOCIEES	60
9.2.	LES SCENARIOS PRECEDEMMENT ETUDIES	60

9.3.	SCENARIO DE REFERENCE REVISE (S3 REVISE) – MARITIME NATIONAL	60
9.4.	CONCLUSIONS.....	66
10.	SCENARIOS DE DECARBONATION DE CHAQUE SEGMENT DE FLOTTE.....	67
10.1.	METHODOLOGIE RETENUE.....	67
10.2.	SYNTHESE DES RESULTATS	68
10.3.	CONCLUSION.....	72
10.4.	PERSPECTIVES.....	72
11.	PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR DECARBONER LE SECTEUR MARITIME.....	73
11.1.	AXE 1 : EFFICACITE ENERGETIQUE (DESIGN OPTIMAL/TECHNOLOGIES ET EXCELLENCE OPERATIONNELLE).....	74
11.2.	AXE 2 : ENERGIES ET INFRASTRUCTURES (PRODUCTION, STOCKAGE, TRANSPORT ET DISTRIBUTION D’ENERGIES ET DE VECTEURS D’ENERGIE DECARBONEE ...)	76
11.3.	AXE 3 : SOBRIETE (SOBRIETE D’USAGE ET DE CONCEPTION, DECARBONATION DE LA PHASE DE PRODUCTION ET ECONOMIE CIRCULAIRE).....	78
11.4.	AXE 4 : REGLEMENTATION (COMPLETER, RENFORCER ET STABILISER LE CADRE REGLEMENTAIRE RELATIF AUX EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE DES NAVIRES)	79
11.5.	AXE 5 : MISE EN OEUVRE OPERATIONNELLE ET SUIVI	80
	ANNEXE 1 - TABLE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS	83
	ANNEXE 2 : MESURES OMI DE COURT ET MOYEN TERME.....	86
	ANNEXE 3 : PAQUET EUROPEEN « FIT FOR 55 ».....	88
	ANNEXE 4 : PRESENTATION DETAILLEE DES LEVIERS DE DECARBONATION.....	90
1.	EFFICACITE ENERGETIQUE POUR REDUIRE LA CONSOMMATION ET LES EMISSIONS.....	90
	<i>Levier 1.1 : réduction de la traînée des navires</i>	<i>90</i>
	<i>Levier 1.2 : amélioration du rendement propulsif.....</i>	<i>91</i>
	<i>Levier 1.3 : amélioration de l’efficacité énergétique des équipements des navires</i>	<i>91</i>
	<i>Levier 1.4 : Excellence opérationnelle</i>	<i>92</i>
2.	ENERGIES ET INFRASTRUCTURES.....	92
	<i>Levier 2.1 : L’usage d’énergie fossile moins carbonée et transitoire (GNL).....</i>	<i>93</i>
	<i>Levier 2.2 : Les biocarburants.....</i>	<i>94</i>
	<i>Levier 2.3 : Les électro-carburants (e-carburants).....</i>	<i>95</i>
	<i>Levier 2.4 : La capture du CO2 à bord</i>	<i>97</i>
	<i>Levier 2.5 : Hybridation et électrification du navire et des quais</i>	<i>97</i>
	<i>Levier 2.6 : Propulsion nucléaire</i>	<i>99</i>
	<i>Levier 2.7 : La propulsion par le vent et les autres énergies renouvelables</i>	<i>100</i>
3.	SOBRIETE OPERATIONNELLE ET DE CONCEPTION POUR REDUIRE LES EMISSIONS EN PHASE D’EXPLOITATION ET TOUT AU LONG DE LA CHAINE DE VALEUR.....	101
	<i>Levier 3.1 : Sobriété opérationnelle - baisse des vitesses</i>	<i>101</i>
	<i>Levier 3.2 : Écoconception, processus de fabrication et fin de vie pour réduire l’empreinte carbone de la construction et du démantèlement.....</i>	<i>102</i>
	ANNEXE 5 – SCENARIO DE DECARBONATION DE REFERENCE – MEET 2050.....	103

ANNEXE 6 – SCENARIOS DE DECARBONATION PAR SEGMENT DE FLOTTE	104
MODELISATION 1.1 : PORTE-CONTENEURS, SCENARIO « TRANSITION REALISTE ».....	104
MODELISATION 1.2 : PORTE-CONTENEURS, SCENARIO « TECHNOLOGIQUE ».....	105
MODELISATION 1.3 : PORTE-CONTENEURS, SCENARIO « SOBRIETE ».....	106
MODELISATION 2.1 : TRANSPORTEURS DE GAZ, SCENARIO « TRANSITION REALISTE ».....	107
MODELISATION 2.2 : TRANSPORTEURS DE GAZ, SCENARIO « TECHNOLOGIQUE ».....	108
MODELISATION 2.3 : TRANSPORTEURS DE GAZ, SCENARIO « SOBRIETE ».....	109
MODELISATION 3.1 : GRANDS FERRIES, SCENARIO « TRANSITION REALISTE ».....	110
MODELISATION 3.2 : GRANDS FERRIES, SCENARIO « TECHNOLOGIQUE ».....	111
MODELISATION 3.3 : GRANDS FERRIES, SCENARIO « SOBRIETE ».....	112
ANNEXE 7 – SYNTHESE DES GROUPES DE TRAVAIL PAR SEGMENTS DE FLOTTE.....	113
1. GROUPE DE TRAVAIL « PORTE-CONTENEURS ».....	113
2. GROUPE DE TRAVAIL « TRANSPORTEURS DE GAZ ».....	123
3. GROUPE DE TRAVAIL « GRANDS NAVIRES DE SERVICES ».....	136
4. GROUPE DE TRAVAIL « GRANDS FERRIES ».....	147

Mot d'introduction des co-présidents

Depuis la publication initiale de notre feuille de route en avril 2023, la Direction générale des affaires maritimes, de la pêche et de l'aquaculture (DGAMPA) et le Cluster maritime français (CMF) continuent à mobiliser et à fédérer l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur afin d'accélérer la transition énergétique du secteur maritime. Cette mise à jour marque une nouvelle étape décisive dans cette démarche.

Grâce à cette collaboration étroite entre tous les acteurs de la filière, nous avons approfondi notre analyse des besoins spécifiques de chaque segment de flotte, améliorant ainsi considérablement la qualité des données disponibles et ciblant les solutions technologiques, énergétiques et opérationnelles au plus près des spécificités des flottes concernées. Cette connaissance fine nous permet de proposer la combinaison des leviers à déployer afin de répondre aux trajectoires de décarbonation imposées par les contraintes réglementaires de l'OMI et d'identifier les écueils de cet exercice et le long chemin qu'il reste à faire avant d'aboutir au fameux net zéro de 2050.

Parmi les travaux menés, nous saluons l'implication des armateurs et de la filière des industriels de la construction et conception navale, qui ont su faire preuve de dynamisme et d'innovation dans la recherche des solutions. Armateurs de France a coordonné l'ensemble des travaux des pilotes des groupes de travail par segment de flotte tandis que le nouvel outil développé par le GICAN visualise les compétences françaises en matière de décarbonation. Les énergéticiens ont dressé un état des lieux des carburants durables adaptés au secteur maritime. Enfin l'expertise reconnue de l'institut de décarbonation Meet2050 a permis de tester et d'illustrer les différentes stratégies par segment de flotte en les traduisant en trajectoires de réduction des émissions de CO₂ et d'affiner ainsi les besoins associés en énergie dans le cadre de la révision de la SNBC.

La révision de cette feuille de route est le fruit d'un travail collectif mené par un groupe d'experts du maritime soucieux d'arriver à un document cohérent et structuré afin d'illustrer les enjeux techniques, technologiques, industriels, financiers, administratifs et juridiques auxquels le secteur est confronté.

En fixant des objectifs clairs et un plan d'actions amendés, cette révision inscrit cet exercice de décarbonation dans un temps long mais sur la base d'une stratégie concertée qui doit continuer à être challengée et adaptée aux évolutions réglementaires, technologiques, financières ou géopolitiques qui ne manqueront pas d'advenir.

Un enjeu majeur réside dans l'acquisition d'une souveraineté énergétique française en matière de carburants maritimes. La production nationale de bio-carburants ou de carburants de synthèse, apparaît comme une solution stratégique pour réduire notre dépendance énergétique, maintenir la compétitivité de nos ports, assurer le fonctionnement d'une flotte stratégique et accélérer la transition. En parallèle, nous déploierons une diplomatie énergétique active pour garantir un approvisionnement complémentaire en carburants durables.

Tout au long de ce travail, notre objectif a été et reste la compétitivité de nos industries, bureaux d'études et centres de recherche du maritime qui ont un rôle crucial à jouer dans la décarbonation du maritime en orientant les armateurs vers les solutions de décarbonation les plus efficaces et compétitives.

Portée par l'État et par l'industrie, cette feuille de route reste un document évolutif qui continuera à être mis à jour périodiquement pour répondre au plus près aux besoins des acteurs maritimes, s'adapter aux avancées technologiques et aux évolutions du contexte réglementaire. Elle constitue un point de départ solide et une boussole qui doit nous guider vers un avenir maritime plus durable et plus respectueux de l'environnement.

Nathalie Mercier-Perrin

Présidente du Cluster Maritime Français

Eric Banel

*Directeur Général des affaires maritimes, de
la pêche et de l'aquaculture*

Résumé exécutif

La feuille de route de décarbonation de la filière maritime, conduite en application de l'article 301 de la Loi climat et résilience, constitue la vision des acteurs français de cette filière pour atteindre les objectifs de décarbonation fixés au niveau international, européen et national. Fruit d'un travail collectif piloté par la DGAMPA et le CMF, et impliquant l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur – armateurs, énergéticiens, ports, chantiers navals et nautiques, équipementiers, architectes et bureaux d'étude – elle vient nourrir les travaux de la Stratégie française pour l'énergie et le climat (SNBC et PPE) qui fixent les arbitrages en matière de choix énergétiques pour notre pays.

Cette feuille de route est d'autant plus importante que le secteur maritime remplit des fonctions essentielles pour l'économie nationale, qu'il ne pourrait plus réaliser sans réussir sa transition énergétique. Fort de ses 4080 000 emplois directs et d'une industrie fortement exportatrice, le maritime contribue en effet fortement :

- A la **souveraineté d'approvisionnement et de transport de la France** et de l'Europe (autour de 85% des importations et exportations européennes en volume arrivent ou partent par la mer) ;
- A l'**autonomie alimentaire par la pêche et l'aquaculture** ;
- A la **réduction de la dépendance énergétique nationale** avec le développement de l'exploitation des énergies marines ;
- A l'**autonomie stratégique** pour préserver la capacité d'action en mer et d'assurer la sûreté et la sécurité du transport, des opérations et des infrastructures en mer.

Moyen de transport le plus performant en termes de consommation d'énergie et d'émissions de gaz à effets de serre à la tonne transportée par kilomètre (facteur 20 par rapport au routier et 100 par rapport à l'aérien), le transport maritime offre aussi une **opportunité de réduire les besoins en énergie et les émissions du transport national**, avec un recours plus large à son usage et avec le développement du report modal vers le fluvial et le ferroviaire.

Cependant, malgré cette efficacité, les quantités de marchandises transportées par la mer sont tellement importantes que son impact global en devient significatif. Il contribue à hauteur d'environ **3% aux émissions mondiales** de gaz à effet de serre, et, sans action de décarbonation, ce chiffre pourrait représenter 90 à 130% des émissions de 2008 à l'horizon 2050. Le maritime devrait représenter une part similaire dans le bilan des émissions de la France, même s'il est difficile de décliner ces chiffres au niveau national tant le transport maritime présente un caractère international. Les données d'émissions rapportées chaque année par la France dans le cadre de la CNUCC sont conformes aux règles internationales mais paraissent sous-estimées car calculées sur seulement une partie de l'énergie soutée dans les ports français, le reste étant attribué aux émissions internationales. Le soutage dans les ports français est par ailleurs faible par rapport aux grands ports européens, ce qui fait de plus courir **un risque de dépendance accrue au soutage étranger pour des énergies décarbonées moins abondantes**.

Des objectifs de décarbonation ambitieux ont été fixés au niveau international et européen, dans le prolongement de l'Accord de Paris sur le climat. L'Organisation maritime internationale (OMI) s'est ainsi engagée en juillet 2023 à atteindre zéro émission nette de GES d'ici 2050, avec des objectifs intermédiaires d'au moins 20 % de réduction des émissions en 2030 par rapport à 2008, en s'efforçant d'atteindre 30 %, et d'au moins 70 %, en s'efforçant d'atteindre 80 %, d'ici 2040, par rapport à 2008. Pour atteindre ces objectifs, une combinaison de mesures de moyen terme sont en cours de négociations au sein de l'OMI et devraient être adoptées en 2025 pour rentrer en vigueur dès 2027. Sur le plan européen, les textes du paquet européen « Fit for 55 » visent à réduire les émissions du continent de 55 % en valeur absolue d'ici 2030 par rapport au niveau de 1990, pour atteindre la neutralité climatique (net zéro) en 2050. Parmi ces textes, plusieurs s'appliquent directement ou indirectement au secteur maritime. Il s'agit en premier lieu du règlement FuelEU Maritime qui prévoit une réduction progressive de l'intensité carbone de l'énergie utilisée à bord des navires et de la directive ETS révisée qui inclut le maritime dans le système d'échange de quotas d'émission européen (action directe), mais aussi du règlement AFIR sur les infrastructures portuaires et de la directive révisée sur les

énergies renouvelables RED 3 (action indirecte). Bien que les objectifs réglementaires ne ciblent à ce jour que les plus grands navires, la feuille de route quant à elle prend en compte l'ensemble des segments de flotte, y compris ceux de moindre dimension tels que la pêche et la plaisance, dans une vision globale, de la construction du navire à sa fin de vie, en passant par son exploitation.

Pour atteindre les objectifs fixés par la réglementation, le maritime peut agir sur trois catégories de leviers : l'efficacité énergétique (technologique, opérationnelle), le changement d'énergie (recours à des énergies moins carbonées, notamment les biocarburants, les e-carburants mais aussi la propulsion par le vent, l'électrification voire la propulsion nucléaire) et la sobriété (principalement la baisse de vitesse des navires, mais également la sobriété de conception, l'écoconception et l'écoconstruction). La feuille de route décrit de façon détaillée les leviers principaux appartenant à ces catégories, à des niveaux de maturité variables. Chacun d'entre eux s'applique avec plus ou moins d'efficacité en fonction du segment de flotte considéré (petits à très gros navires, navires neufs ou existants). Ils présentent également des freins et verrous d'origines technologiques, opérationnels, énergétiques, réglementaires, ou encore financiers qui limitent aujourd'hui la mise en œuvre effective des leviers. Les travaux au sein de la filière s'attachent aussi à développer et caractériser l'offre de l'industrie française qui a abouti notamment à un panorama des solutions de décarbonation portées par l'industrie française qui recense plus de 380 solutions issues de plus de 250 acteurs.

À la différence d'autres secteurs, à l'image de l'automobile qui s'appuie sur une électrification massive, aucun des leviers ne s'impose à ce jour pour le maritime. Seule une **combinaison optimale des leviers**, par segment de flotte ou par navire selon son profil d'usage, permettra de réussir la décarbonation du secteur.

Pour définir sa stratégie de décarbonation, la filière s'est appuyée sur l'outil de modélisation développé par l'Institut MEET2050. Il a permis, dans la première version de la feuille de route, de **comparer une dizaine de scénarios de décarbonation et d'en retenir un de référence**. Celui-ci est aujourd'hui présenté dans sa version révisée. Il repose sur la mise en œuvre de mesures d'efficacité technologiques et opérationnelles ambitieuses, le recours modéré à la baisse de vitesse, l'utilisation de carburants moins carbonés et l'ambitieux déploiement très massif de la propulsion par le vent. Il met en évidence trois éléments majeurs :

- Le **besoin significatif estimé de biocarburants** (autour de 5 TWh en 2035) **puis de e-carburants** (20 TWh en 2050), et cela malgré des efforts importants de réduction de la consommation énergétique. Avec l'électrification et l'hybridation électrique de certains navires, l'électrification des quais pour limiter les émissions lors des escales et la production de carburants décarbonés, les besoins en électricité amont sont estimés à 3.5 TWh en 2030 et 45 TWh en 2050, soit l'équivalent de 25 champs éoliens comme celui de Saint-Nazaire ;
- La **nécessité d'atteindre des gains d'efficacité énergétique significatifs** pour limiter le recours aux énergies décarbonées, coûteuses à produire et dont les stocks seront limités ;
- Le **coût très élevé de la transition pour les acteurs de la filière, estimé entre 75 et 110 milliards d'euros sur la période 2023 – 2050**, valeurs cohérentes avec les conclusions d'études internationales sur ce sujet.

La décarbonation représente un véritable défi pour l'écosystème maritime dont dépend une partie importante de l'économie française. La France doit être à la mesure de l'enjeu, sans quoi le secteur s'exposera à des risques forts – opérationnels, industriels et financiers – avec pour conséquence une perte de compétitivité, d'activité et d'emplois nuisible à l'ensemble de l'économie et à la souveraineté nationale.

La France dispose pour cela d'acteurs de premiers plan sur toute la chaîne de valeur, capables d'innover et de s'engager dans la décarbonation : armateurs de premier rang, chantiers et équipementiers leader sur des technologies à haute valeur ajoutée, bureaux d'étude et société de service à haut niveau d'expertise, énergéticiens de rang mondial, ports implantés sur toute les façades de métropole et d'outre-mer, acteurs académiques et scientifiques reconnues en

France et à l'international. Plusieurs initiatives et projets concourent déjà à la décarbonation du secteur mais il faut aller plus loin et changer d'échelle.

Pour y parvenir, la filière propose la mise en place d'un **plan d'actions** ambitieux, équilibré et économiquement viable. Car au-delà des enjeux environnementaux, la transition énergétique représente aussi une véritable opportunité de développement économique et de création d'emplois industriels au niveau national. Ce plan d'actions se décline en cinq axes principaux et 33 actions : L'amélioration de l'efficacité énergétique des navires, l'énergie et les infrastructures, la sobriété, le renforcement du cadre réglementaire et la mise en œuvre opérationnelle de la feuille de route.

Enfin, cette transition ne sera possible qu'à travers un travail conjoint entre les acteurs de la filière et l'État qui s'inscrit sur du moyen et long terme. L'accompagnement de l'État, en particulier le soutien financier et les orientations de politiques publiques, sont les conditions nécessaires à la mise en place de ce plan d'actions.

1. Présentation de la feuille de route de décarbonation du secteur maritime

1.1. Les feuilles de route de l'article 301 de la loi Climat et résilience

L'article 301 de la loi n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets, dite « loi Climat et résilience », dispose que, pour chaque secteur fortement émetteur de gaz à effet de serre, une feuille de route est établie conjointement par les représentants des filières économiques, le Gouvernement et les représentants des collectivités territoriales pour les secteurs dans lesquels ils exercent une compétence.

Ces feuilles de route coordonnent les actions mises en œuvre par chacune des parties pour atteindre les objectifs de baisse des émissions de gaz à effet de serre fixés par la stratégie nationale bas carbone. L'élaboration de chacune des feuilles de route prévues par la loi suit une démarche itérative afin d'impliquer les filières économiques dans la planification écologique :

- Dans un premier temps, tout au long de l'année 2022, chaque filière a élaboré une proposition de feuille de route de décarbonation qui recense les leviers de décarbonation qu'elle privilégie, les freins à lever, les actions qu'elle se propose de mettre en place et les propositions d'évolution des politiques publiques qu'elle adresse aux pouvoirs publics pour accompagner cette transition ;
- Ces propositions de feuille de route de décarbonation émanant des différentes filières sont remises au Gouvernement au début de l'année 2023. Elles viendront utilement nourrir les décisions et orientations qui seront prises dans le cadre de la planification écologique (répartition des objectifs de baisse des émissions entre secteurs, plans de financement, arbitrages intersectoriels pour répartir les ressources rares, évolution des usages et place de la sobriété) ;
- Une fois les orientations de la planification écologique décidées, les feuilles de route seront retravaillées par chaque filière conjointement avec l'État et les représentants des collectivités locales pour y intégrer les objectifs fixés par la stratégie nationale bas-carbone et plus largement la planification écologique. Elles seront alors transmises au Parlement et constitueront dès lors le plan d'action commun entre les pouvoirs publics et les filières économiques pour garantir l'atteinte des objectifs climatiques.

1.2. La feuille de route de décarbonation du secteur maritime

D'après l'Organisation maritime internationale (OMI), le transport maritime représente au niveau mondial près de 3% des émissions de gaz à effet de serre. Compte tenu de son caractère fortement international, il est difficile de donner un chiffre précis sur la contribution nationale du transport maritime aux émissions de gaz à effet de serre. En effet, selon que l'on se rapporte au pays des ports où sont les navires, au pavillon des navires, ou encore au temps passé dans les eaux territoriales, les chiffres varient grandement.

Moyen de transport efficace d'un point de vue énergétique rapporté aux volumes transportés, le transport maritime n'en est pas moins quasi exclusivement dépendant des énergies fossiles. Il doit aujourd'hui opérer une transition énergétique sans précédent afin de respecter les engagements fixés au niveau international et européen, mais aussi contribuer à l'effort national de décarbonation. Il en va également de la pérennité de l'industrie maritime nationale et de la souveraineté d'approvisionnement de la France.

Le présent document répond à l'article 301 de la loi n° 2021-1104 du 22 août 2021 et constitue la feuille de route révisée des acteurs de la filière du maritime pour décarboner leur activité, en lien notamment avec les objectifs réglementaires auxquels ils sont soumis.

Comme pour les autres secteurs fortement émetteurs de gaz à effet de serre et concernés par l'article 301, l'approche retenue pour la feuille de route intègre l'ensemble de la chaîne de valeur. Concrètement, cela implique la prise en compte de l'impact environnemental en gaz à

effet de serre de la construction du navire à son démantèlement, en passant par son exploitation, les infrastructures portuaires associées ainsi que les différentes formes d'énergie nécessaires à l'exploitation du navire (approche dite « en cycle de vie »).

Une proposition de feuille de route de décarbonation du maritime a ainsi été finalisée en janvier 2023 pour être présentée au ministre en charge du transport et au secrétaire d'Etat en charge de la mer en avril 2023.

Ce document est ici présenté dans sa version révisée, enrichie par des travaux d'analyses et des concertations qui ne figuraient pas dans la version d'origine. Une révision régulière de la feuille de route de décarbonation du maritime sera réalisée afin d'adapter la stratégie aux avancées technologiques et réglementaires, l'affiner en raison d'un accès à de nouvelles données ou suite à des évolutions économiques.

1.2.1. Gouvernance et démarche de travail

Le calendrier resserré dans lequel l'élaboration de la feuille de route initiale a été réalisée a conduit les coprésidents de la feuille de route, la Direction générale des affaires maritimes, de la Pêche et de l'aquaculture (DGAMPA) et le Cluster Maritime Français (CMF), à adopter une méthode de travail s'appuyant sur un groupe d'experts reconnus de la filière et de l'administration, et se réunissant à intervalles réguliers. Outre la DGAMPA et le CMF, ce comité de pilotage était composé de représentants des entités suivantes :

- Les équipes de l'Institut MEET 2050 pour la décarbonation du maritime ;
- Groupement des industries de construction et industries navales (GICAN), rapporteur sur la thématique « *construction et fin de vie des navires* » ;
- EVOLEN, rapporteur sur la thématique « *énergies et infrastructures* » ;
- MAURIC, rapporteur sur la thématique « *conception des navires* » ; Armateurs de France (ADF), rapporteur sur la thématique « *exploitation des navires* ».
- Commissariat général au développement durable (CGDD) , Secrétariat Générale de la Planification Ecologique (SGPE) et Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC), en tant qu'équipe projet des feuilles de route de décarbonation de l'article 301 de la loi Climat et résilience ;
- Direction générale des entreprises (DGE) ;
- Direction Générale de l'infrastructure, des Transports et des Mobilités (DGITM)

Les travaux de la version initiale ont été organisés en quatre étapes :

- La première a consisté, sur la base de l'expertise des rapporteurs et la mobilisation de leurs réseaux d'experts, en l'identification des différentes stratégies de décarbonation possibles pour le maritime et des leviers associés ;
- Une seconde étape a permis de partager les premiers éléments avec l'ensemble des acteurs de l'écosystème, par le biais de quatre réunions élargies rassemblant à chaque fois entre quarante et quatre-vingts acteurs, témoignant du grand intérêt de la filière pour la démarche. Des réunions thématiques complémentaires ont également été organisées autour de sujets spécifiques, comme par exemple avec les représentants des ports.
- Parallèlement à ces réunions, un travail de modélisation a été réalisé pour quantifier des scénarios basés sur les stratégies et leviers identifiés. Ce travail s'est appuyé sur un modèle développé par des membres de l'institut MEET2050 et l'intégration de données fournies par les industriels, experts et centres de recherche.
- La dernière étape a consisté en la rédaction d'un plan d'action pour atteindre les objectifs réglementaires de décarbonation et à finaliser le scénario proposé par la filière. Le plan d'action repose à la fois sur la mise en place de projets concrets mobilisant les pouvoirs publics et les acteurs privés, et d'un cadre facilitant la bonne collaboration entre les acteurs de la chaîne de valeur.

La version révisée, qui se concentre surtout sur la déclinaison de l'analyse initiale par segment de flotte, s'est appuyée sur :

- Des groupes de travail par segments de flotte pilotés par Armateurs de France dans lesquels figuraient des représentants des armateurs de chaque compagnie maritime concernée par le segment de flotte, et en tant que de besoin le GICAN et l'institut Meet2050 pour la modélisation.
- Une équipe projet réunissant les acteurs identifiés précédemment copilotée par la DGAMPA et le CMF.

1.2.2. Projets et documents sur lesquels s'appuie la FDR 301

La réduction des émissions des navires n'est pas un sujet nouveau. Il existe de nombreux travaux et études, à l'échelle internationale, mais aussi au niveau national. On peut citer :

- De nombreux rapports et analyses disponibles dans la littérature, publiés par des centres de recherche, centres d'expertise dédiés à la décarbonation, sociétés de classification, cabinets de conseil. En particulier, la quatrième étude sur les émissions de gaz à effet de serre publiée par l'Organisation maritime internationale (OMI) en juillet 2020¹ constitue une référence.
- Les feuilles de route technologiques [Green Ship](#) et [Smart Ship](#) du Comité Stratégique de Filière (CSF) des industriels de la mer, dont les rédactions ont été portées par les Pôles Mer Bretagne Atlantique et Méditerranée et qui présentent une liste de leviers et de solutions technologiques et opérationnelles.
- Les travaux réalisés dans le cadre de l'initiative de la Coalition pour la Transition Éco-Énergétique du Maritime (T2EM), portée par le CMF depuis 2019 avec le concours d'une cinquantaine d'acteurs de la chaîne de valeur, qui ont conduit à l'élaboration de livrables de référence ayant servi de base de travail importante pour la feuille de route : Rapport de synthèse, plateforme d'information, programme Navires et Ports Zéro Émissions, outil de modélisation de scénarios de décarbonation, projet de création d'un institut sur la transition éco énergétique du maritime pour favoriser la collaboration des acteurs de la chaîne de valeur.

1.2.3. Les défis à relever pour établir une feuille de route « nationale »

Plusieurs spécificités du secteur maritime, rendant l'exercice d'une feuille de route complexe, méritent d'être mises en avant :

- Une **flotte très hétérogène** composée de navires de toutes tailles en navigation nationale et internationale, avec des activités et contraintes d'exploitation diverses, et des valeurs d'achat de quelques centaines de kilos euros à plus d'un milliard pour les navires les plus technologiques ;
- **L'absence de séries industrielles** dans la construction des navires. Chaque navire doit être à la fois un prototype, un démonstrateur d'une nouvelle technologie et un outil de travail à la disponibilité sans faille pour les armateurs rendant complexe l'intégration de technologies de rupture ;
- La nécessité, dans un secteur très soumis à la compétition internationale, d'avoir des **solutions harmonisées à l'échelle européenne voire internationale et n'induisant pas de distorsion de concurrence** susceptible de pénaliser les intérêts nationaux ;
- Une **diversité de leviers** (énergétiques, technologiques, opérationnels) dont le déploiement requiert la synchronisation de l'ensemble de la chaîne de valeur (décision d'un armateur, capacité de développement du navire et de ses sous-systèmes, des unités de production d'énergie et des infrastructures de distribution, adaptation de la réglementation ...);

¹ Fourth Greenhouse Gas Study 2020, www.imo.org

- Une part importante des leviers disponibles qui sont à des **niveaux de maturité assez faibles** ne permettant pas à ce stade d’avoir des certitudes sur les solutions à mettre en œuvre ni sur leur réelle efficacité ;
- Un **grand nombre d’acteurs sur la chaîne de valeur** (armateurs, affréteurs, chantiers, équipementiers, bureaux d’architecture et d’ingénierie navale, port, fluvial, énergéticiens, services financiers et d’assurance, réglementation ...), représentés par une vingtaine de fédérations professionnelles ;
- Des **acteurs de la chaîne de valeur leaders à l’international** mais qui n’entretiennent pas forcément de relations client / fournisseurs au niveau national, ce qui ne favorise pas une collaboration directe comme entre un donneur d’ordre industriel principal et son réseau de sous-traitants.

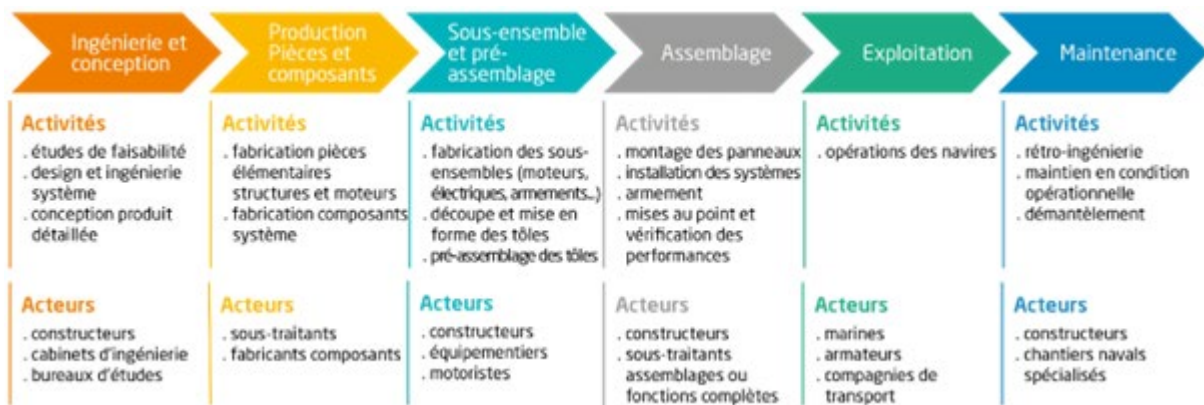
2. La filière maritime : un rôle économique de premier plan et des enjeux majeurs dans le cadre de la transition énergétique

2.1. Une place de premier plan dans l’économie nationale

Avec une valeur de production de plus de 119 milliards d’euros pour environ 486 000 emplois en 2023, le secteur maritime représente un acteur majeur de l’économie nationale. Le transport maritime de marchandises contribue notamment à la vitalité des exportations françaises. Ainsi, en **2022**, les exportations de marchandises poursuivaient leur croissance en particulier grâce à la forte hausse des exportations de marchandises transportées par voie maritime. **Plus de 341 millions de tonnes de marchandises ont transité par les ports français cette année-là**, confirmant la position de la France comme puissance maritime. Le dynamisme du secteur se reflète dans les performances des ports français, qui ont vu leur chiffre d’affaires augmenter en 2022 par rapport à 2021, dépassant même les niveaux de 2019, avant la pandémie. Le potentiel de développement du secteur est fort dans un pays doté d’une façade maritime de premier plan et du deuxième espace maritime mondial en superficie.

2.2. Les secteurs clés à décarboner de la filière maritime française

Le secteur de l’industrie navale français est très actif sur l’écoconception, le développement de technologies bas carbone (dont la propulsion par le vent) et l’intégration de navires à haute performance environnementale. La filière navale française a franchi la barre des 15 milliards d’euros de chiffre d’affaires en 2023. Sur la dernière décennie, l’activité des industriels navals a progressé en moyenne de 5 % par an, principalement grâce à l’export, démontrant ainsi la stabilité du secteur malgré les fluctuations des facteurs externes. La filière a augmenté ses effectifs de 8 %, atteignant plus de 56 400 emplois. Au cours de la dernière décennie, plus de 15 000 postes ont été créés, et l’industrie prévoit d’en créer 15 000 supplémentaires d’ici 2030. Le secteur civil est tiré par l’export à plus de 90%. La croissance du secteur civil est principalement attribuée aux commandes substantielles de navires de croisière réalisées par les Chantiers de l’Atlantique. Pour les navires civils de plus petites tailles, les acteurs arbitrent l’utilisation de leurs infrastructures pour la construction de navires pour le marché militaire, pour l’action de l’état en mer ou pour les navires civils tels que ceux de maintenance en mer et de service, dragues, remorqueurs, navires spéciaux, navires de surveillance et de sauvetage, câbliers, navires hydrographiques et océanographiques. La chaîne de valeur comprend de nombreux acteurs industriels, les systémiers, les équipementiers, les fabricants de pièces et sous-ensembles.

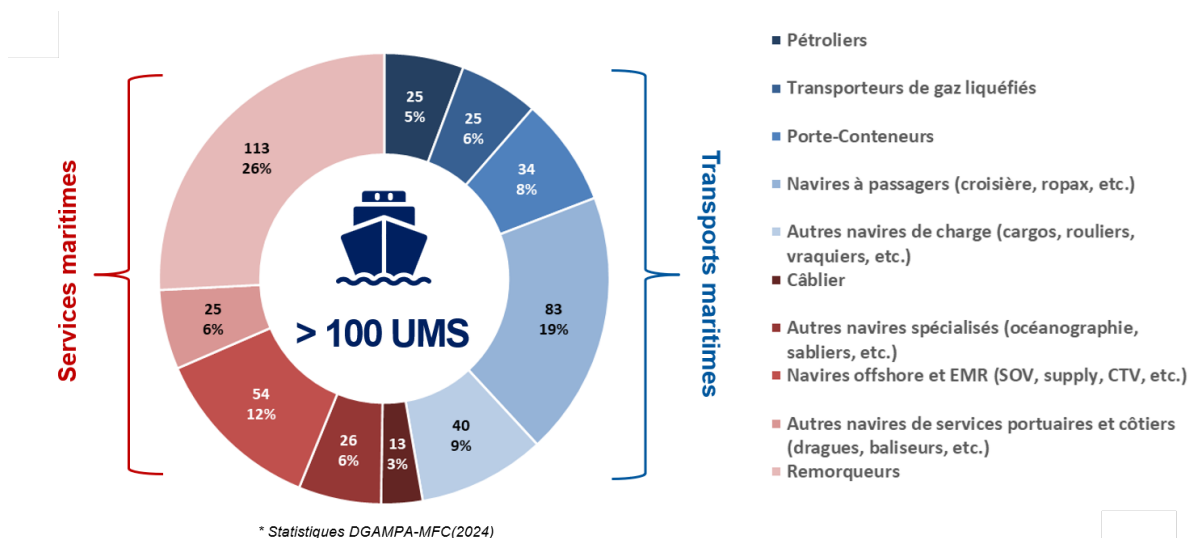


Source : Solutions & co de la région Pays de la Loire

La chaîne de valeur de la filière navale

Le secteur du transport et des services maritimes

La flotte de commerce française se caractérise par sa diversité, son dynamisme et son excellence reconnue (environnement, social, sécurité). Elle est composée de navires de conception et d'usage très divers : pétroliers (brut, produits raffinés), vraquiers, chimiquiers, gaziers (GNL, GPL...), porte-conteneurs, cargos, rouliers (véhicules) et rouliers à passagers, paquebots, vedettes à passagers, câbliers, navires hydrographiques et océanographiques, navires de maintenance en mer et de service, dragues, remorqueurs, navires spéciaux, navires de surveillance et de sauvetage.



Source du graphique : Armateurs de France sur base données MFC

Flotte française sous pavillon français (2024)

Cette diversité repose sur des armateurs nationaux très actifs et de véritables leaders mondiaux sur leurs segments respectifs (CMA-CGM pour le transport de conteneurs, Bourbon dans l'offshore) ou des groupes aux activités multiples (Groupe LDA pour la pose de câbles sous-marins, le transport de tronçons d'avion Airbus ou la maintenance des parcs éoliens). Ce sont également des armateurs très spécialisés (SOGESTRAN - MN, Jifmar) ou avec un ancrage régional fort (Brittany Ferries, La Méridionale, DFDS et Corsica Linea dans le transport de passagers) voire novateurs sur le segment de la croisière (Ponant dans les croisières de luxe). À noter que de nouveaux armateurs spécialisés dans le transport décarboné utilisant la propulsion par le vent voient le jour en France, à l'image de Neoline, Zephyr & Borée, TOWT, Grain de Sail, Sailcoop et d'autres initiatives en cours de création (VELA, HISSEO...). Le dynamisme de la flotte de commerce française est particulièrement marqué dans certains segments comme les services aux énergies marines renouvelables (avec une dizaine de compagnies actives) et pour le transport de gaz qui connaît une croissance importante avec

un nombre de navires français qui pourrait doubler de 2024 (32 méthaniers) à 2050 (60 unités) (Gazocéan, Geogas, Knutsen LNG France et Orion LNG France).

Le secteur de la pêche et de l'aquaculture

Le secteur français de la pêche et de l'aquaculture représente une valeur de production d'environ douze milliards d'euros pour plus de 64 000 emplois², se plaçant ainsi au troisième rang européen. La France métropolitaine, riche de son littoral de 5 500 km, possède une soixantaine de ports de pêche et dispose de 4 417 navires de pêche. Les territoires ultramarins, avec leurs 3 438 navires de pêche, sont des acteurs incontournables de la filière³. Cependant, la flotte de navires de pêche est vieillissante, avec une moyenne d'âge de 31 ans, bien supérieure à celle des navires de commerce sous pavillon français. Le renouvellement de cette flotte et la transition vers des énergies bas carbone, plus chères que le gasoil fossile, représentent un véritable enjeu.

Le secteur du nautisme et de la plaisance

Le nombre de plaisanciers réguliers atteint aujourd'hui les quatre millions et **les immatriculations de navires de plaisance augmentent d'environ 12 000 unités par an**. Il existe plus d'un million d'unités immatriculées en France en 2020, dont près de 78% sont des unités à moteur. Sur le littoral, près de 473 installations portuaires sont destinées à l'accueil des navires de plaisance. L'enjeu économique de la filière est majeur : la France est le premier constructeur de navires de plaisance en Europe et le second au niveau mondial. L'activité des loisirs nautiques s'exerce sur l'ensemble du territoire de métropole et d'outre-mer.

Le secteur portuaire

Les ports français représentent environ 213 000 emplois directs et créent plus de 17 milliards d'euros de valeur ajoutée. Il existe 66 ports de commerce en France dans lesquels transitent environ 350 millions de tonnes de marchandises par année et 32 millions de passagers⁴. Véritables interfaces terre-mer, les ports sont des acteurs clés de la bonne exploitation des navires en tant que lieu de soutage, de chargement et de déchargement de la cargaison, de report vers d'autres modes de transport, de relève d'équipage et de réparation courante.

2.3. Potentiel des acteurs de la chaîne de valeur

Devant les défis techniques et économiques posés par la transition écologique et énergétique, dans un secteur hautement concurrentiel, la **France dispose d'entreprises leaders sur les principales composantes de la chaîne de valeur**, capable d'adresser la majorité des solutions de décarbonation :

- **Armateurs** de premier rang engagés et volontaires pour verdir leurs flottes, et couvrant la totalité des segments d'activités de transports et services maritimes, ainsi que d'activités de pêche et de plaisance. Le renouvellement de 90 % de la flotte de commerce existante sous pavillon français dans les 10 prochaines années est estimé entre 14 et 18 milliards d'euros selon les technologies utilisées (1,5-2 milliards/an).
- **Énergéticiens** et industriels de l'énergie de rang mondial implantés dans la production et la distribution de carburants marins, et en mesure de produire et distribuer les carburants décarbonés ou bas carbone de demain, et de développer des infrastructures de production, transport et stockage.
- **Chantiers navals** leaders sur les segments les plus technologiques : paquebots de croisière et navires militaires, avec une capacité d'innovation importante et à même

² Chiffres 2023 du Cluster Maritime Français.

³ Panorama de la pêche française, 2024, CNPME

⁴ <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-transports-2024/18-transport-maritime-de-voyageurs>

d'adresser des sujets complexes, ainsi que des chantiers de taille moyenne qui se positionnent sur des navires intermédiaires et petits à faible voire zéro émission.

- **Équipementiers** leaders sur des technologies clés et en capacité de les développer ou de créer de nouvelles entreprises industrielles, avec des entreprises pour certaines déjà positionnées sur le maritime, pour d'autres capables de proposer des solutions innovantes.
- **Ports** sur les principales façades maritimes européennes (en métropole) ou sur des routes et hubs logistiques mondiaux (en outre-mer), en mesure de devenir des hubs énergétiques, de développer des routes de cabotage adaptées aux évolutions des navires et de favoriser le report modal notamment vers le transport fluvial.
- **Sociétés proposant des services** associés au maritime de premier plan, que ce soit des sociétés d'ingénierie, des bureaux de design, une société de classification, des banques et des compagnies d'assurance.
- **Acteurs académiques et scientifiques** reconnus en France et à l'international dans le maritime et l'énergie, en capacité de mobiliser de l'expertise et des ressources pour accompagner la transition et former aux technologies de demain.

2.4. Segmentation de la flotte nationale

Afin d'articuler au mieux les leviers de décarbonation, les travaux de la feuille de route prennent progressivement en compte, autant que possible, les spécificités d'exploitation des différents types de navires. La segmentation suivante a été retenue, étant entendu qu'un même segment de flotte peut recouvrir divers types de navires :

- Grands ferries (ferries et navires de transport de passagers) ;
- Petits navires à passagers ;
- Porte-conteneurs ;
- Navires transporteurs de gaz ;
- Navires citerne (produits chimiques ou pétroliers liquides) ;
- Grands navires de service (Special offshore vessels, dragues, remorqueurs hauturiers, navires océanographiques ,, câbliers, etc.) ;
- Navires de croisière ;
- Cargo et rouliers
- Petits navires de service (remorqueurs portuaires, pilotines, services offshore) ;
- Navires de pêche et conchylicoles.

Cette feuille de route présente les travaux menés et finalisés pour les segments de flottes des ferries, gaziers, porte-conteneurs ainsi que ceux des grands navires de services qui doivent être complétés des modélisations de trajectoire de décarbonation.

En raison de la particularité des leviers à déployer, les travaux de décarbonation de la flotte de plaisance et du nautisme sont menés dans le cadre de la feuille de route nautisme et plaisance.

Les travaux de la flotte de pêche sont en cours.

2.5. Enjeux de la transition énergétique du secteur maritime

2.5.1. Le secteur maritime comme enjeu de souveraineté et d'autonomie

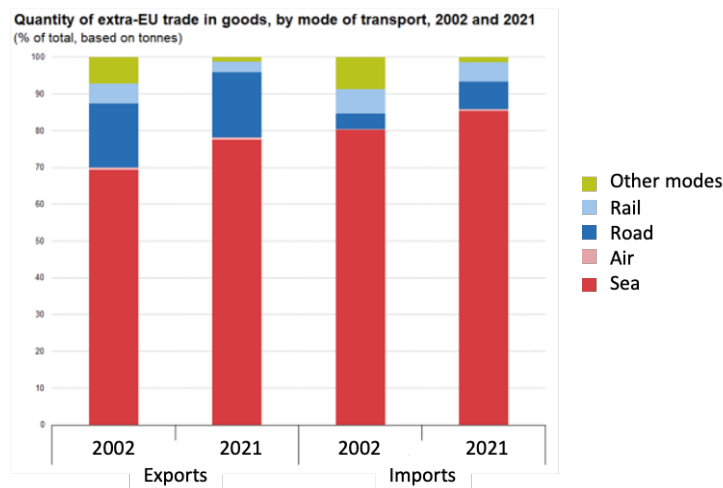
La souveraineté nationale et européenne est devenue une priorité, tout particulièrement dans le contexte post crise sanitaire, d'instabilité géopolitique et de tensions pesant sur les besoins énergétiques. Souvent mal connu, le secteur maritime est au cœur de cet enjeu :

1. **Rôle essentiel dans la souveraineté d'approvisionnement de la France et de l'Europe**

Avec près de 85% des importations en volume qui arrivent par la mer au niveau européen, la souveraineté d'approvisionnement est fortement dépendante de la capacité des entreprises maritimes nationales à assurer le transport de marchandises, de biens et de personnes. Cela est en particulier valable pour les approvisionnements stratégiques de la

métropole et des outre-mer tels que les besoins énergétiques, alimentaires, en matières premières et en biens manufacturés.

Cette souveraineté passe par des navires, capables d'opérer conformément à la réglementation, avec un accès à des énergies décarbonées dans des conditions économiques viables et sans être contraint à une forte baisse de vitesse des navires réduisant significativement les échanges.



Répartition des volumes importés et exportés de l'Europe par moyens de transport ⁵

2. Dépendance majeure au soutage étranger

La dépendance au soutage dans les ports étrangers s'élève aujourd'hui à plus de 80% pour le transport international. Concrètement, quatre navires venant acheminer des biens ou des personnes sur cinq remplissent leurs soutes dans un pays étranger. Cette forte dépendance n'est pas sans risque pour l'économie française. En effet, certains pays pourraient ne pas être en mesure de satisfaire les besoins des armateurs en énergie décarbonée et réserver ces énergies pour d'autres usages que le transport maritime international. Par ailleurs, si les ports français ne sont pas en capacité, demain, de fournir des carburants durables, le recours aux énergies fossiles, fortement taxées et donc coûteuses dans un avenir proche, et à des baisses de vitesse importantes, seront à envisager, avec un risque de perte de compétitivité par rapport aux pays ayant sécurisé leurs approvisionnements.

La souveraineté passe ainsi, d'une part, par une relocalisation des opérations de soutage et de chargement / déchargement dans les ports français, d'autre part, par la capacité des ports français pour fournir des énergies décarbonées.

3. Contribution à la décarbonation du mix énergétique national

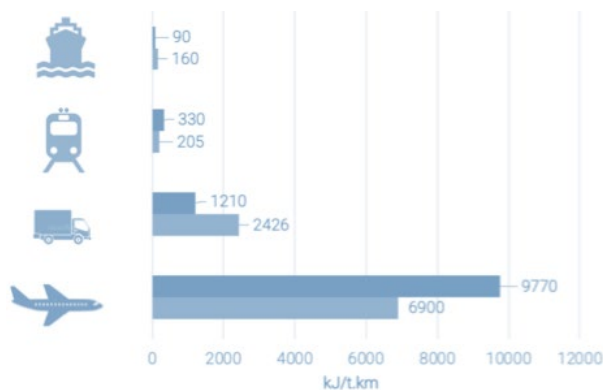
La filière maritime apporte une contribution significative à la transition énergétique de la France, notamment au travers du développement de l'éolien offshore (objectif de fourniture de 45 GW en 2050 au mix national) et de ses ambitions pour le développement de l'hydrolien (5GW à 2050). La filière éolienne en mer représente plus de 320 acteurs dans le secteur maritime dont une dizaine d'armateurs (et 180 navires disponibles).

4. Contribution à la baisse des besoins énergétiques nationaux par le report modal

Rapportés à la tonne transportée, les transports par voie maritime et fluviale sont de loin – avec le rail – les plus efficaces d'un point de vue énergétique (de l'ordre d'un facteur 20 pour le routier et 100 pour l'aérien). Ces moyens de transport sont donc une solution à favoriser dans une logique d'efficacité énergétique. Le couplage avec le rail puis le camion sur les derniers kilomètres est également un moyen d'optimiser les besoins énergétiques.

⁵ International trade in goods by mode of transport, 2022, Eurostat ([lien](#)).

Comparaison des besoins énergétiques de différents modes de transports à la tonne transportée, suivant deux études internationales (nuances de bleu)



5. Autonomie alimentaire par la connaissance et l'exploitation des ressources marines

La capacité des acteurs du maritime à développer des productions aquacoles et à exploiter les océans de manière responsable à travers une flotte de pêche décarbonée dans des conditions économiques acceptables joue un rôle important en matière de souveraineté.

6. Capacités technologique et numérique

La maîtrise en France des savoir-faire et des capacités de production des technologies et équipements permettant la construction et le retrofit de navires performants, la production d'énergie décarbonée pour le maritime, ou encore la pose, l'entretien et la surveillance des câbles sous-marins indispensables échanges de flux de données sont des enjeux de souveraineté nationale.

2.5.2. Enjeux capacitaires et opportunité de développement économique

La décarbonation du secteur maritime d'ici 2030 et 2050 pose des défis capacitaires majeurs, tant en termes de production des technologies de décarbonation, de construction et retrofit de navires que de disponibilité de carburants alternatifs et de développement d'infrastructures portuaires. Toutefois, les acteurs du maritime sont convaincus que la transition énergétique représente une formidable opportunité de développement économique et industrielle pour la France.

Le tableau ci-dessous présente des exemples de produits et services pouvant être développés par des acteurs français dans le cadre de la transition du maritime.

- **Production des technologies décarbonées** : l'industrialisation et le passage à l'échelle des technologies ciblées pour la décarbonation nécessitent l'adaptation et la création d'usines capables de répondre aux besoins dans les années à venir



Piles à Combustible & Batteries forte puissance marinisées

Piles à combustible (PEM, SOFC, ...) et batteries de moyennes et fortes puissances marinisées.



Motorisation électrique ou adaptée aux nouveaux carburants

Moteurs électriques de faible à forte puissance, moteurs à combustion interne adaptés aux carburants marins alternatifs.



Stockage / soutage

Cuves de stockage d'énergie décarbonée (hydrogène liquéfié, méthane liquéfié, méthanol, ammoniac), systèmes de soutage à bord des navires, système gaz à bord, etc.



Propulsion Vélique

Systèmes de propulsion vélique : voiles, ailes, kites, rotors ... et systèmes de contrôle.



Efficiace énergétique et opérationnelle

Capteurs, outils d'analyse de données et d'aide à la décision (routage, management de l'énergie ...)

- **Renouvellement et adaptation de la flotte** : Pour atteindre les objectifs de décarbonation, une part significative de la flotte mondiale devra être renouvelée ou adaptée. Armateurs de France estime que 90 % de la flotte de commerce sous pavillon français devra être remplacée ou rétrofitée dans les dix prochaines années, avec des investissements estimés entre 14 et 18 milliards d'euros.
 - **Capacité des chantiers navals** : La capacité annuelle de production des chantiers navals est limitée. Avec environ 40 000 navires de commerce à remplacer ou rétrofiter d'ici 2030, le temps nécessaire pour renouveler cette flotte est estimé à 32 ans, sauf à augmenter significativement la capacité de production des chantiers.
-



Navires zéro émissions

Conception et fabrication de navires éco-efficients. Systèmes de réduction de la consommation énergétique, système de capture et stockage de CO₂, récupération de chaleur / froid, optimisation des performances, etc.

- **Production et distribution de carburants alternatifs** : La transition vers des carburants décarbonés, tels que les biocarburants, l'hydrogène ou les carburants de synthèse, nécessite une augmentation massive de la production et des infrastructures de distribution. Les investissements nécessaires sont estimés entre 75 et 110 milliards d'euros pour les armateurs français pour la période 2023-2050, sans compter les coûts opérationnels.
-



Production d'énergie

Unités de production d'énergie décarbonées pour le maritime



Port hub énergétique

Infrastructures portuaires, distribution d'énergie décarbonée et diversification de l'activité portuaire.

2.5.3. Enjeux concurrentiels et politiques publiques de soutien des pays

Les technologies de décarbonation sont devenues un levier de compétitivité essentiel pour les entreprises du maritime dans un contexte de transition énergétique avec pour objectif :

- **Une réduction des coûts énergétiques** en réduisant la consommation énergétique et les coûts opérationnels
- **Un accès à des financements avantageux** sensibles aux critères environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG),
- **Une anticipation des réglementations** pour limiter les émissions de CO₂ (taxes carbone ou des quotas d'émission) et un renforcement de la résilience face aux contraintes réglementaires
- Une réponse aux **attentes d'une partie des clients** et des consommateurs
- **Une amélioration de l'innovation** et de l'efficacité pour réduire leur empreinte écologique
- Une préférence dans les chaînes d'approvisionnement des acteurs engagés pour la décarbonation
- Un positionnement sur de nouveaux marchés de navires, services et transport verts

Les grandes puissances de l'industrie navale et maritime mondiale se saisissent du sujet avec des politiques de soutien industriel affichées. Nous donnons pour exemple :

- **Stratégie "Made in China 2025"** : Lancée en 2015, cette initiative vise à moderniser l'industrie manufacturière chinoise, y compris la construction navale, en mettant l'accent sur l'innovation, la qualité et la durabilité. Elle encourage le développement de technologies vertes et la production de navires à faible émission. A la suite de ce plan, la Chine a élaboré une stratégie ambitieuse pour décarboner son industrie navale, détaillée dans le « Plan d'action pour le développement vert de l'industrie de la construction navale (2024-2030)⁶ » publié le 26 décembre 2023 qui prévoit des mesures de soutien pour :
 1. Construire un système de produits de navires verts : équipements, conception et intégrations de navires
 2. Transformer le système de fabrication notamment par la numérisation et standardisation
 3. Transformation de système de chaîne d'approvisionnement pour la décarbonation notamment par la gestion des données au travers de l'industrie
 4. Renforcer la coordination régionale et la coopération internationale pour la décarbonation
- **La stratégie coréenne** de construction navale "K-Shipbuilding Strategy for Next-Generation Market Dominance"⁷ publié fin 2023 vise à dominer le marché des navires de nouvelle génération. Un budget de 710 milliards de wons (environ 500m€) est prévu d'ici 2028, avec la formation de 3 000 experts techniques pour assurer la compétitivité mondiale de la Corée dans ce secteur. Elle repose sur trois axes :
 1. Technologie de pointe : Développement et commercialisation rapide de navires autonomes et de technologies à carburant neutre en carbone (GNL, ammoniac, hydrogène).
 2. Système de fabrication avancé : Investissement dans des chantiers navals intelligents et dans la robotique pour optimiser la productivité, tout en adaptant le système de visa pour répondre aux besoins en main-d'œuvre étrangère.
 3. Dispositifs légaux et financiers : Soutien financier et coopération renforcée avec les PME et grandes entreprises, et mise en place de dispositifs pour promouvoir l'export et l'innovation industrielle.

3. Présentation des objectifs climatiques fixés pour le secteur

3.1. Objectifs et mesures au niveau mondial

La nature internationale et globalisée du transport maritime a conduit la Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique à confier à l'Organisation maritime internationale (OMI), la charge de comptabiliser et de réguler les émissions de gaz à effet de serre (GES) du secteur.

L'OMI a véritablement commencé à agir sur les émissions de GES des navires dans les années 2010, avec l'entrée en vigueur effective en 2015 de l'indice nominal de rendement énergétique (*Energy Efficiency Design Index – EEDI*), qui impose aux navires neufs de jauge égale ou supérieure à 400 UMS de se conformer à une certaine valeur d'efficacité énergétique minimale en fonction de leur conception, rendue plus contraignante par phases de cinq ans. À cette première mesure s'est ajoutée en 2018 l'obligation pour les 30 000 navires de jauge égale ou supérieure à 5000 UMS de la flotte mondiale de déclarer annuellement leurs données de consommation de carburant. Ces mesures sont toutefois d'une portée limitée et l'adoption en 2015 de l'Accord de Paris a poussé l'OMI à accélérer son action dans ce domaine.

⁶ https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202312/content_6923175.htm

⁷ <http://english.motie.go.kr/eng/article/EATCLdfa319ada/1534/view>

En juillet 2023, l'OMI a adopté une **Stratégie révisée de réduction des émissions de gaz à effet de serre par les navires**. Plus ambitieuse que la Stratégie initiale de 2018, celle-ci engage les Etats à atteindre **zéro émission nette de GES d'ici 2050**, avec des objectifs intermédiaires d'au moins 20 % de réduction des émissions en 2030 par rapport à 2008, en s'efforçant d'atteindre 30 %, et d'au moins 70 %, en s'efforçant d'atteindre 80 %, d'ici 2040, par rapport à 2008.

Pour atteindre ces objectifs, la Stratégie prévoit l'adoption de mesures de court terme (effectives à compter de 2023), moyen-terme (après 2023) et de long-terme (après 2030).

Les mesures de court terme (EEXI, CII), adoptées en 2021 et entrées en vigueur en 2023, imposent notamment à chaque navire de jauge égale ou supérieure à 5000 (UMS) des cibles de réduction de son intensité carbone réelle par rapport à une référence calculée en fonction de l'intensité carbone de sa catégorie en 2019 : -5% en 2023, -7% en 2024, -9% en 2025 et -11% en 2026. Les cibles pour la période 2027-2030 devront être adoptées en 2026 au plus tard, mais un alignement avec l'objectif actuel de -40 en 2030 par rapport à 2008 nécessiterait un rythme proche de -3% par an entre 2027 et 2030.

Par ailleurs, une combinaison de mesures de moyen terme est en cours de négociations au sein de l'OMI et devraient être adoptées en 2025, pour rentrer en vigueur dès 2027. L'UE défend une combinaison de mesures comprenant une mesure technique ou normative de réduction de l'intensité carbone de l'énergie utilisée à bord des navires nommée GFS (*GHG Fuel Standard*) avec un mécanisme de flexibilité (Flexibility Compliance Mechanism – FCM) et une mesure économique de contribution universelle en matière de GES. Ces deux mesures (technique et économique) permettent d'être complémentaires et de lancer une réelle impulsion pour le secteur afin d'investir pour des solutions de décarbonation de leurs activités.

Ces mesures sont présentées plus en détail en Annexe 2.

3.2. Objectifs et mesures au niveau européen (UE)

La "Loi climat" européenne, adoptée le 9 juillet 2021, inscrit dans le droit européen l'objectif de neutralité carbone de l'Union européenne en 2050 et un nouvel objectif intermédiaire, plus ambitieux, de **réduction des émissions nettes de gaz à effet de serre à -55% en 2030** par rapport à 1990 (contre -40% précédemment).

Le paquet législatif visant à atteindre ces objectifs (**paquet « Fit For 55 »**), comporte deux propositions législatives clés pour le secteur du transport maritime :

- La révision de la **directive ETS** a permis l'inclusion en janvier 2024 du transport maritime dans le Système européen d'échange de quotas d'émission existant (« ETS » pour Emission trading scheme) qui couvre déjà les émissions des installations industrielles, de la production d'énergie et du transport aérien, avec un plafond de quotas pour les secteurs couverts aboutissant à une réduction de 62% des émissions en 2030 par rapport à 2005 ;
- Le nouveau règlement **FuelEU Maritime** imposera à partir de 2025 des cibles d'intensité carbone de l'énergie utilisée à bord des navires, prenant en compte l'ensemble du cycle de vie des carburants. Les cibles de réduction, prenant en compte l'ensemble du cycle de vie des carburants (du « puits au sillage »), se situent à -2% en 2025, -6% en 2030, -14.5 en 2035, -31% en 2040, -62% en 2045 et -80% en 2050. Le règlement prévoit également des obligations de branchement à quai à partir de 2030 pour les navires à passagers et porte-conteneurs dans les ports européens ciblés par l'article 9 du règlement AFIR.

Ces dispositifs, ainsi que leurs impacts attendus, sont décrits en Annexe 3.

3.3. National

La Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) est la feuille de route de la France pour mener sa politique d'atténuation du changement climatique. Elle prévoit des réductions d'émissions de GES dans tous les secteurs d'activité émetteurs de GES (transport, bâtiment, industrie, etc.) et donne en conséquence les orientations stratégiques sectorielles pour mettre en œuvre en France la transition vers une économie décarbonée durable. La SNBC en vigueur (SNBC-2) vise

l'atteinte de la neutralité carbone à l'horizon 2050 et la réduction de l'empreinte carbone de la consommation des Français.

Elle prévoit en particulier un **transport maritime et fluvial entièrement décarboné pour les émissions domestiques à horizon 2050 et décarboné à 50 % pour les soutes internationales**. Ces objectifs seront revus à l'occasion de la révision de la SNBC en 2023-2024, en lien avec le relèvement de l'ambition climatique européenne, qui nous engage à intensifier fortement nos efforts pour décarboner en profondeur notre économie et la société à grande échelle. La future SNBC fixera par ailleurs, en application de la loi énergie climat, des objectifs de court / moyen terme (sous forme de budgets carbone) pour le transport maritime international.

3.4. Segments pour lesquels il n'existe pas d'objectif

Les dispositions juridiques qui déclinent les objectifs climatiques internationaux, européens et nationaux comportent des angles morts. Parmi ces secteurs n'étant à ce jour pas concernés par des objectifs de réduction contraignants, on peut citer :

- Les navires de commerce de jauge brute inférieure à 5000 UMS à navigation nationale,
- Les navires de commerce de jauge brute inférieure à 400 UMS,
- Les navires de plaisance,
- Les navires de pêche.

Ces segments constituent une part non négligeable du secteur maritime français en nombre d'unités concernées. S'ils répondent à des contraintes et des enjeux spécifiques, ils doivent cependant être associés aux démarches visant à atteindre les objectifs climatiques nationaux.

4. Périmètre des émissions et besoins en énergie du secteur maritime

4.1. Inventaire des émissions du secteur maritime français

La consommation d'énergie et les émissions associées doivent être mesurées avec précision afin d'avoir une vision claire des besoins du secteur.

En France, le Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA) réalise chaque année l'inventaire des émissions nationales en lien avec les engagements de la France dans le cadre des conventions internationales et des obligations de rapportage européennes. Les émissions du transport maritime et fluvial, publiées dans le rapport SECTEN du CITEPA, sont pour le décompte domestique à 0.6% des émissions nationales⁸, et à moins de 2% en intégrant les émissions liées au transport international⁹, ce qui est inférieur aux pourcentages d'émission du maritime au niveau européen ou mondial, estimé à 3 et 4%.

Ces écarts s'expliquent pour plusieurs raisons, notamment :

- La méthode de calcul se fonde sur le volume de carburants marin souté **par des navires sous pavillon Français dans les ports français**, qui, comme indiqué plus haut, sont faibles en proportion par rapport aux autres pays maritimes.
- En application de la méthode de décompte internationale, seule une partie des soutes sont intégrées au calcul, à savoir celles concernant les petits navires et navires de pêche d'une part, et seulement une **quote-part (6%) attribuées aux émissions de fioul lourd**. Le gaz naturel liquéfié, dont l'usage est plus récent comme carburant, n'est également pas pris en compte.

⁸ Transport fluvial de marchandises, transport maritime domestique, transport autres navigations, soit principalement les bateaux fluviaux, navires de pêche et navires de plaisance.

⁹ Transport fluvial international, transport maritime international, soit principalement les portes conteneurs, vraquiers, pétroliers venant souter dans un port français

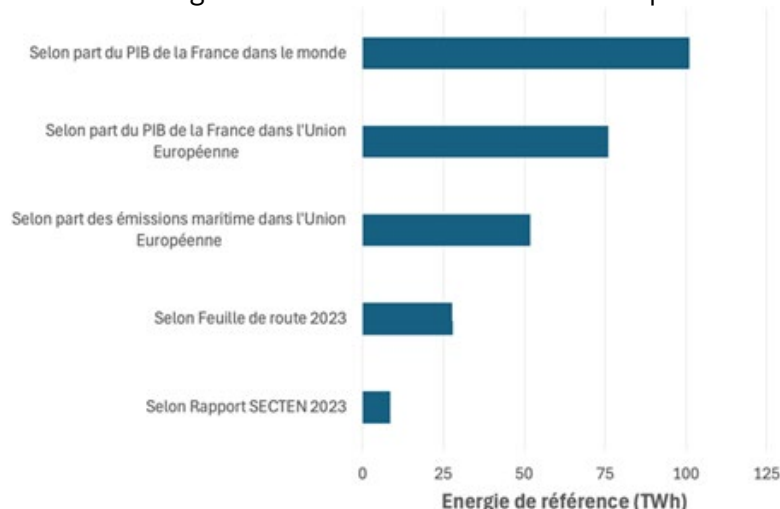
En outre, même si elles n'entrent pas dans les décomptes du CITEPA, les émissions liées à la construction et au recyclage ou au démantèlement du navire peuvent être significatives. Le tableau ci-après donne une estimation du poids de l'empreinte carbone de ces phases (chiffres issus de différentes études nationales ou internationales¹⁰).

Type de navire	Empreinte construction-déconstruction / Émissions totales
Navire de charge	3 à 5 %
Paquebot	10 à 20 %
Mega-yacht et unités de plaisance	15 à 20 %

La part relative de cette empreinte devrait augmenter avec l'amélioration de l'efficacité énergétique des navires en opération. Ainsi, un navire propulsé majoritairement par le vent aura une part relative de son empreinte carbone à la construction nettement supérieure à celle d'un navire standard du fait de sa faible consommation de carburant en opération.

4.2. Périmètre de calcul des besoins en énergie, choix du périmètre du scénario de référence

Pour tenir compte des émissions réelles du secteur maritime français et ne pas sous-estimer les besoins énergétiques nécessaires à sa décarbonation, plusieurs hypothèses de calcul se différenciant de la méthode de calcul présentée en §4.1 ont été étudiées. La figure ci-dessous montre comment évolue l'énergie de référence avec les différents périmètres considérés :



Sur ce schéma, en partant du haut vers le bas, il s'agit du :

- **P1: Périmètre élargi, basé sur des besoins en énergies décarbonées rapportés au prorata du PIB français par rapport au PIB mondial (3,1%), de l'ordre de 100 TWh et 33 Mt CO₂ (autour de 6% des émissions nationales)¹¹ ;**
- **P2: Périmètre élargi, basé sur des besoins en énergies décarbonées rapportés au prorata du PIB français par rapport au PIB européen (17,0%), ce qui amènerait à autour de 75 TWh d'énergie fossile représentant 25 MtCO₂ ;**
- **P3: Périmètre** considérant que les émissions du maritime national représentent le même pourcentage que celui de l'EU (3,7%), soit 51,9 TWh et 17,0 MT CO₂ ;

¹⁰ Données fournies par les adhérents du GICAN et de Fountain Pajot et des études internationales (Jian Hua & al(2019), Pham Ky Quang & al (2020), Favi & al (2017).

¹¹ Les valeurs présentées sont différentes des valeurs présentées dans la feuille de route 2023 car les données CITEPA 2023 sont prises en compte (2022 dans le calcul précédent) et les paramètres de calcul de l'outil de modélisation MEET2050 ont été affinés.

- **P4 : Périmètre intermédiaire couvrant la décarbonation de l'ensemble des carburants soutés dans les ports français** (faible part au niveau européen), soit autour de 27,7 TWh d'énergie fossile (basé sur les données de soutage du CITEPA sans coefficient de pondération et ajout du GNL), représentant 9,1 MtCO₂.
- **P5 : Périmètre de l'inventaire CITEPA** des émissions nationales, ce qui serait extrêmement limitatif compte-tenu des raisons évoquées au paragraphe précédent et correspondrait à environ 8,4 TWh d'énergie fossile lesquelles représentent 2,8 Mt CO₂ annuels¹² ;

Dans l'exercice de la feuille de route 2023 l'approche P4 a été retenue pour l'élaboration du scénario de référence. Ce choix n'est pas tout à fait basé sur le périmètre de calcul des émissions de référence française du CITEPA (P5) mais a été considéré comme équilibré et justifié par :

- La nécessité de prendre en compte la résolution de l'OMI invitant chaque État à agir à son niveau pour faciliter l'atteinte des objectifs internationaux¹³ ;
- Les objectifs de développement économique et industriel portés par les acteurs français, ce quelle que soit la nationalité du client intermédiaire ou final.

Les réflexions sur ce sujet ont depuis été approfondie en analysant d'autres périmètres de quantification du besoin en énergie (et des émissions associées), notamment dans le cadre des travaux par segments de flottes de la flotte française (voir §7) qui couvre les navires sous pavillon français indépendamment de leur lieu de soutage.

Le tableau ci-dessous compare plusieurs méthodes pour illustration des implications sur les émissions.

Méthode	Pavillon	Soutage	Armateur	Navigation	Suivant besoin import/export	Méthode P4 de référence
Principe	Prise en compte des émissions des navires sous pavillon français	Ventes de carburants hors GNL à destination du maritime, fluvial, pêche et plaisance auquel est appliqué un coefficient de pondération	Prise en compte des émissions des navires dont l'armateur est enregistré dans le pays concerné	Prise en compte des émissions des navires naviguant dans la zone économique du pays concerné	Fondé sur les besoins de transport maritime pour l'économie du pays concerné	Soutage dans les ports français en y intégrant les soutes de GNL également

¹² Rapport SCETEN 2023 du CITEPA.

¹³ Résolution MEPC.327(75) du 20 novembre 2020 encourageant ses Etats membres à développer des "plans d'actions nationaux" pour réduire les émissions de GES des navires.

Remarque	Méthode retenue pour les travaux par segments de flotte de la feuille de route révisée 2024.	Méthode CITEPA retenue pour les inventaires d'émissions en vue des déclarations CCNUC, selon les directives de l'IPCC [2006].	Méthode proposée par l'OCDE sur le maritime (à ce jour à titre prospectif).	Méthode investiguée dans les rapports d'analyse commandités au Royaume-Uni [2024] ou à Singapour [2022] sur l'impact du maritime.	-	Méthode retenue de la FdR pour la quantification des besoins en énergie pour le maritime
Émissions	GT Porte-conteneurs 2,6 Mt ; GT Grands ferries 1,8 Mt ; GT Gazier 1,3 Mt – Total de ces trois segments : 5,7 Mt	Émissions domestiques : 2,7 Mt ; + Emissions internationales 3,5 Mt – Total : 6,2 Mt . Soit 0,7% des émissions françaises tout secteur confondu.	Selon l'OCDE, pour la France un total de 27,4 Mt en 2022 (29 Mt déclarées par CMA CGM en 2023 et correspondent au périmètre maritime de l'entreprise).	Pas de données disponibles au niveau national (une étude du CITEPA est en cours sur le sujet).	En affectant à la France une quote-part d'émissions proportionnelle à son poids dans l'économie, soit : au niveau européen : 25,0 Mt au niveau mondial : 33,3 Mt .	27,7 TWh d'énergie fossile 9,1 Mt CO₂

Élaborer un indicateur représentatif de la part « réelle » que prend chacun des États dans ce décompte international reste un enjeu pour la décarbonation du maritime. Ainsi par exemple, la méthode de comptabilisation actuelle (méthode dite de « soutage », 2^{ème} colonne) conduit à estimer les émissions du maritime national pour la France à 0,7% des émissions totales du pays, par ailleurs « vertueux » en termes d'émissions, et dont l'économie est pourtant fortement dépendant du maritime : **le poids des émissions du maritime national est sans doute nettement sous-estimé par rapport à son impact réel**. De plus, la méthode conduit de façon corrélative à sous-estimer le besoin en énergie nécessaire à la souveraineté économique du pays.

Notons que deux grandes nations maritimes (le Royaume-Uni¹⁴ et Singapour¹⁵ qui est un pays souteur) présentent dans des publications récentes une analyse des méthodes de calcul des émissions et montrent que la méthode actuelle introduit un biais important dans l'estimation des émissions des États. Ces nations plaident pour une évolution de l'approche actuelle, afin de représenter de façon plus « juste » l'affectation de ces émissions à chaque pays.

En résumé :

- Pour l'estimation des besoins en énergie pour la décarbonation du maritime on retient la méthode intermédiaire P4.

¹⁴ House of Commons/Environmental Audit Committee – Net zero and UK shipping (2024) – <https://committees.parliament.uk/publications/45178/documents/223685/default/>.

¹⁵ International Council on Clean Transportation – Exporting emissions: Marine fuel sales at the port of Singapore (2022) – <https://theicct.org/publication/marine-singapore-fuel-emissions-jul22/>.

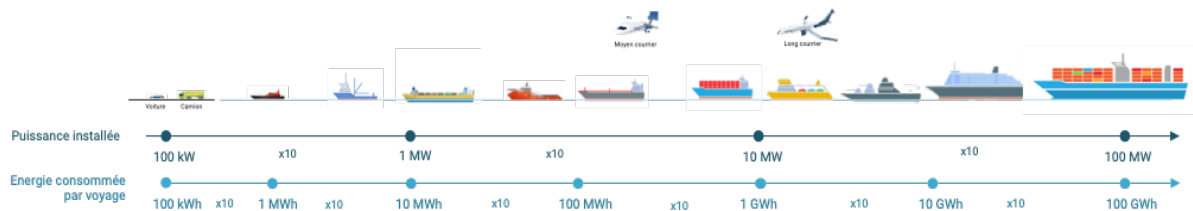
- Pour l'étude des trajectoires de décarbonation par segment de flotte, on retient la méthode de « pavillon », en se fondant sur les données de consommation des navires sous pavillons français des compagnies nationales.

5. Présentation des leviers de décarbonation

5.1. Des leviers et technologies spécifiques à combiner par type, autonomie et taille de navire

La décarbonation des navires est spécifique et identifiée comme l'une des plus complexes à réussir compte tenu des multiples combinaisons de besoins en matière de puissance et d'autonomie. En effet, la puissance d'un porte conteneur est 1000 fois supérieure à celle d'une voiture et ses besoins énergétiques pour un voyage sont 1 million de fois supérieurs.

Le graphique ci-dessous donne à titre illustratif des ordres de grandeur des puissances (moteur principal et auxiliaires) et de l'énergie consommée pour un déplacement / voyage, en échelle logarithmique, en comparaison à d'autres mobilités.



De manière générale, les technologies développées dans d'autres domaines, tels que l'automobile, ne sont pas directement adaptables et nécessitent une « marinisation » (batteries, stacks de piles à combustible) ou des développements spécifiques (vélique).²

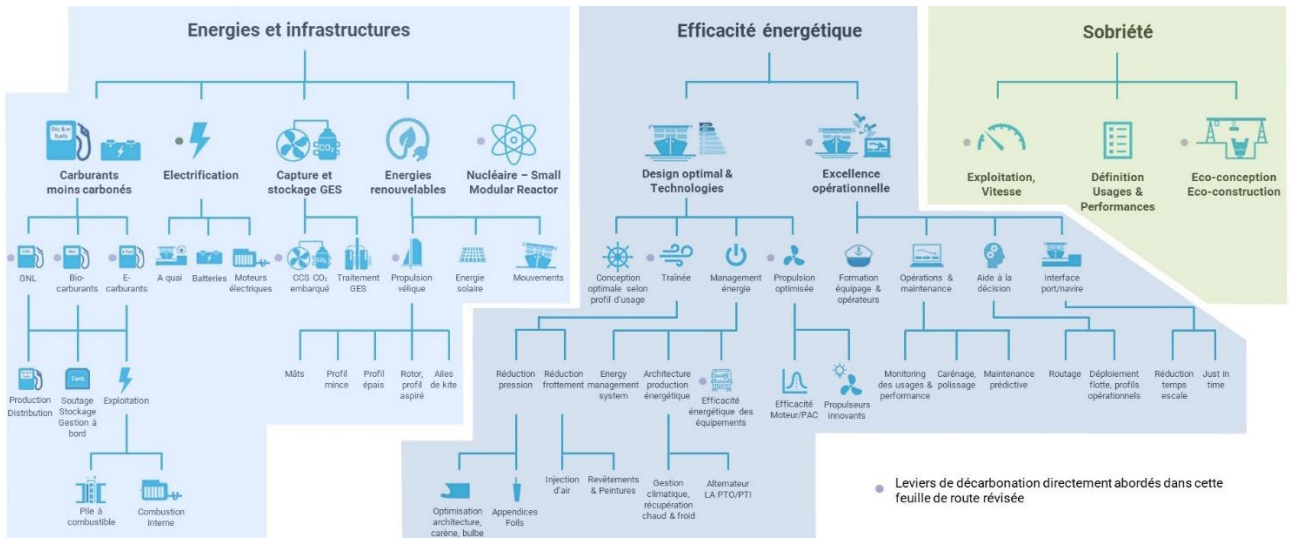
Cette spécificité se retrouve également en termes de vecteurs énergétiques. Le gazole et le fioul lourd aujourd'hui principalement utilisés par le secteur maritime devraient être remplacés par des molécules communes avec d'autres mobilités, comme le méthane et l'hydrogène, mais d'autres sont plus spécifiques comme le méthanol et l'ammoniac.

Il n'existe et n'existera pas de solution unique pour décarboner le secteur maritime. Celle-ci passera nécessairement par une combinaison de différentes solutions, variant fortement selon le type de navire et son usage. Certaines solutions sont au stade de concepts, d'autres au stade de démonstrateurs et certaines sont déjà mises en œuvre depuis de nombreuses années. On estime ainsi que la performance énergétique des navires aujourd'hui est améliorée de l'ordre de 10 à 20% par rapport à il y a 20 ans.

Chaque solution présente ses avantages propres, mais aussi des **inconconvénients de différentes natures** ayant jusqu'à présent limité leurs déploiements :

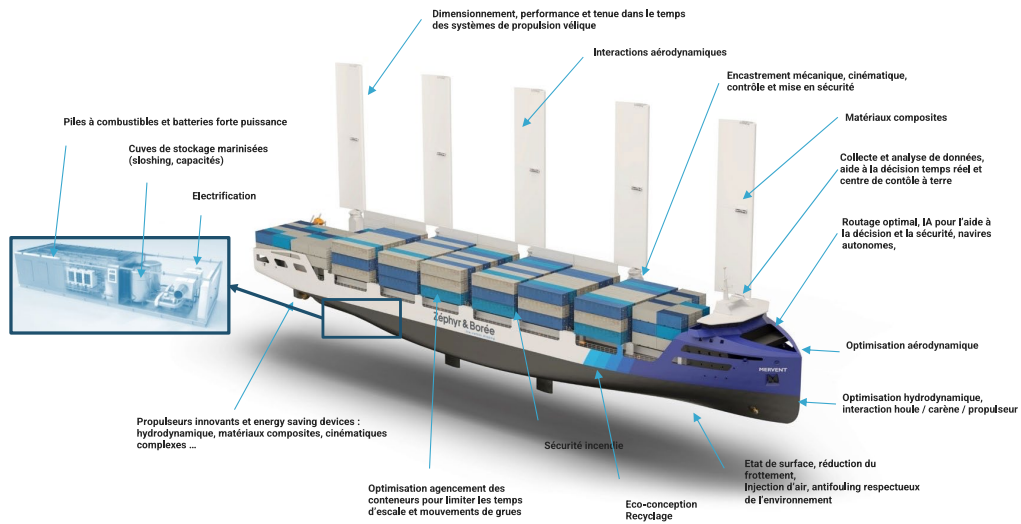
- **Technologique**, du fait de la complexité des solutions restant à développer ou à fiabiliser ;
- **Réglementaire**, pour des raisons de sécurité (batteries, ammoniac, nouveaux matériaux etc.) ;
- **Financier**, car les solutions décarbonées seront généralement plus chères en investissement (CAPEX) et parfois en fonctionnement (OPEX) ;
- **Énergétique**, car les ressources sont limitées eu égard aux besoins importants pour la production de carburants alternatifs ;

Le diagramme ci-dessous présente à titre illustratif les principaux leviers, à combiner par type de navire, pour réussir leur décarbonation.



Les principaux leviers de décarbonation du maritime (source MEET2050)

Les trois navires-concepts présentés ci-dessous font appel à ces différents leviers.



Navire porte-conteneur allant vers le zéro émissions (Crédits : Zéphyr et Borée)











Cargo à voile Neoline (Crédits : Mauric / Néoline)









Navire pêche à hydrogène (Crédits : Mauric)









5.2. Aperçu des principaux leviers de décarbonation

Dans cette nouvelle version de la feuille de route, 13 principaux leviers ont été spécifiquement étudiés, décrits de manière détaillée en Annexe 4 et présentés de manière synthétique ci-après. Ils sont décrits en présentant leurs avantages et les freins actuels à leur mise en place. Des illustrations de projets concrets accompagnent ce descriptif.

Famille de levier n°1 : Efficacité énergétique - technique ou opérationnelle - du navire <i>Amélioration du design des navires, en phase de conception pour les navires neufs ou en rétrofit, pour optimiser ses besoins énergétiques en lien avec son programme (autonomie, usage)</i>			
Levier & Description	Avantages	Inconvénients	Gains potentiels et maturité
 <p>1.1 Réduction de la traînée Optimiser la forme du navire pour minimiser la résistance de vague et de frottement du navire, sur construction neuve ou en rétrofit (bulbe, voute, appendices, injection d'air sous la carène)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tous navires Neuf ou rétrofit Solution mature, éprouvée ROI rapide (1 à 3 ans pour le rétrofit) 	<ul style="list-style-type: none"> Études perçues comme inutilement coûteuses et longues Manque de données sur les profils opérationnels, point de départ des études Équilibre à trouver entre une efficacité maximale et une spécification excessive du nouveau design 	5 à 20% de réduction des consommations énergétiques et émissions associées Maturité : 
 <p>1.2 Amélioration du rendement propulsif Optimiser l'ensemble de la chaîne propulsive du navire (rendement, propulseurs innovants, intégration de la chaîne de propulsion, Energy Saving Device)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tous navires Neuf ou rétrofit ROI rapide (1 à 3 ans pour le rétrofit) Innovations de ruptures en développement (inspiration du biomimétisme) 	<ul style="list-style-type: none"> Études perçues comme inutilement coûteuses et longues Coût élevé pour les propulseurs performants (5 à 25% du coût du navire) Besoin de passage à l'échelle 	3 à 10% de réduction des consommations Maturité : 
 <p>1.3. Amélioration de l'efficacité énergétique des équipements des navires Optimiser l'énergie consommée à bord pour éviter les consommations superflues (récupération de chaleur ou froid, efficacité des équipements de pont, de pêche,...)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tous navires Facilité de mise en place Coûts réduits, pour des gains de consommation assurés 	<ul style="list-style-type: none"> Outils de modélisation énergétique et monitoring encore en développement Résultats très variables selon le profil de navire 	Maturité : 
 <p>1.4. Excellence opérationnelle Optimiser les consommations du navire dans ses interactions avec son</p>	<ul style="list-style-type: none"> Potentiel de gains importants, pour des solutions parfois simples à mettre en œuvre 	<ul style="list-style-type: none"> Disponibilité de la bande passante pour les communications satellites navires / terre Manque de données de qualité, standardisées, partagées 	Maturité : 

environnement (écoconduite, routage optimisé, optimisation des escales et temps à quais, ...)	<ul style="list-style-type: none"> • Développement d'outils numériques toujours plus performants) 	<ul style="list-style-type: none"> • Faible culture technique de certains opérateurs de navires • Partage des investissements et bénéfices entre armateurs et affréteurs 	
---	--	--	--





Famille de levier n°2 : Energies et infrastructures			
Aujourd'hui alimentés au fioul lourd et gazole, les navires doivent nécessairement changer d'énergie. 21% des commandes actuelles de navires sont compatibles avec des carburants alternatifs. Pour la France, l'énergie soutée dans ses ports représente 30 TWh/an : la disponibilité d'un tel volume énergétique en carburants alternatifs est un sujet majeur.			
Levier & Description	Avantages	Inconvénients	Gains potentiels et Maturité
 <p>2.1. Energie fossile moins carbonée et transitoire (GNL) Energie de transition vers les bio- et e-carburants, grâce à la compatibilité des motorisations bio- et e-GNL</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Technologie et chaînes d'approvisionnement matures • Compatible avec les réglementations en matière de pollution atmosphérique des zones ECA • Réglementation internationale déjà existante • Compatibilité avec les motorisations bio- et e-GNL • Forte densité énergétique 	<ul style="list-style-type: none"> • Énergie fossile, et risquant d'entraîner des émissions fugitives de méthane • Usage limité à des navires de taille significative (>100m) • Nécessite une formation professionnelle de l'équipage pour maîtriser le combustible cryogénique à bord 	<p>Réduction des émissions de CO2 jusqu'à 17% selon le type de motorisation et l'origine du GNL (+6% à -17% dans le projet de règlement FuelEU)</p> <p>Maturité : </p>
 <p>2.2. Biocarburants Produits à partir de biomasse, il s'agit des biocarburants liquides, du biométhane, et du bioGNL</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Carburants déjà disponibles dans certains ports • Peuvent être incorporés sans retrofit majeur, en mélange avec les carburants traditionnels • Haute densité énergétique 	<ul style="list-style-type: none"> • Stocks limités, compétition d'usage avec d'autres secteurs • Réduction des émissions variable selon les biocarburants • Travaux de R&D nécessaires pour développer les biocarburants avancés 	<p>Maturité : </p>
 <p>2.3. E-carburants Carburants fabriqués à partir d'électricité, par électrolyse de l'eau (pour H2) puis transformation. Ils peuvent être décarbonés à condition que l'électricité utilisée le soit. Ils regroupent le e-hydrogène, le e-méthane (et e-GNL), le e-méthanol et le e-NH3 : à ce jour,</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fort potentiel de réduction des émissions de GES • Diversité de e-carburants, pouvant répondre à différents usages • Réduction des SOx, NOx et particules fines 	<ul style="list-style-type: none"> • Besoins massifs en électricité bas carbone, du fait des faibles rendements énergétiques, et en compétition avec d'autres usages • Prix très dépendants du prix de l'électricité, nettement plus élevés que leurs équivalents fossiles • Densité énergétique moindre 	<p>Maturité : </p>

<p>aucun n'est identifié comme vecteur privilégié.</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Économie industrielle et infrastructures à construire • Dangers/toxicité du NH3 et H2 	
 <p>2.4. Capture et utilisation du CO2 (CCUS) Capture à bord du CO2 en sortie de moteur, puis utilisation ou séquestration ultérieure</p>	<ul style="list-style-type: none"> • En complément des carburants alternatifs carbonés et nécessitant des stockages à très faible température • Potentiel nouveau marché pour les ports français 	<ul style="list-style-type: none"> • Coûteux, envisagé pour les gros navires uniquement • Requiert de l'énergie à bord • Incertitudes réglementaires sur le CO2 • Nombreuses modifications sur navires, encombrant 	<p>Maturité :</p> 
 <p>2.5. Propulsion nucléaire Conversion de la propulsion au nucléaire, par « technologie à eau pressurisée » ou par l'installation de SMR</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Zéro émission • Technologie Eau pressurisée maîtrisée par la France • Excellent rapport capacité/puissance 	<ul style="list-style-type: none"> • Réservé à des grands navires avec une puissance d'au moins 20 000 à 40 000 kW • SMR n'ont pas démontré leur fiabilité en mer • Difficulté d'assurer un environnement de sûreté dans la logique actuelle de l'exploitation des navires marchands • Coûts de construction, d'exploitation et de démantèlement élevés • Acceptabilité 	<p>Maturité :</p> 
 <p>2.6. Électrification des navires et des quais Electrification des modes de propulsion pour les navires à moindre besoin énergétique par voyage, électrification des auxiliaires, hybridation de la propulsion, fonctionnement électrique à quai</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des émissions de GES à bord • Technologie batterie mature • Possibilité de retrofit pour certains navires • Possibilité d'hybridation des motorisations thermiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Efficacité en termes de réduction des émissions de GES dépend de la source de production électrique • Infrastructures d'électrification coûteuses pour les ports • Ne convient que pour les courtes distances ou petits navires 	<p>Maturité :</p> 
 <p>2.7. Propulsion par le vent Installation de systèmes véliques en assistance à une motorisation principale</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Energie éolienne renouvelable, gratuite et abondante • Pour navires neufs ou en retrofit • Nombreux acteurs français pionniers de la propulsion vélique • Ne nécessite aucune transformation à terre 	<ul style="list-style-type: none"> • Efficace pour des vitesses de navire réduites • Plus ou moins adapté selon les lignes maritimes • Robustesse et durabilité des équipements reste à démontrer • Nécessite une adaptation de la carène et ses appendices pour remonter au vent efficacement 	<p>Maturité :</p> 

	<ul style="list-style-type: none"> Compatible avec tous les modes de propulsion 	<ul style="list-style-type: none"> Impact sur le pont de chargement, la stabilité et la visibilité 	
--	--	---	--

Famille de levier n°3 : Sobriété

Il s'agit des mesures intentionnelles prises dans un objectif d'approche durable d'utilisation de l'énergie pour réduire au-delà de la réglementation les émissions du navire dans l'intégralité de la chaîne de valeur. En optimisant la conception, l'utilisation du navire, la méthode de construction, les matériaux

Levier & Description	Avantages	Inconvénients	Gains potentiels
 <p>3.1. Baisse de vitesse Réduction des vitesses</p>	<ul style="list-style-type: none"> Simple techniquement à mettre en oeuvre Efficace si la baisse de vitesse est raisonnée (jusqu'à 30%) Pertinence en synergie avec la propulsion vélique 	<ul style="list-style-type: none"> Risque de compensation avec la mise en service de nouveaux navires Risque de report modal plus carboné, pour regagner en vitesse Opérationnellement complexes pour certains segments (ferrys notamment) 	<p>Maturité :</p> 
 <p>3.2. Sobriété de conception et d'usage Favoriser la conception de navires plus sobres en termes de fonctionnalités et d'utilisation de matières premières, notamment grâce aux méthodes d'éco-conception, sur tout le cycle de vie du navire</p>	<ul style="list-style-type: none"> Contraintes liées à la fin de vie des navires déjà intégrées par les chantiers français Premières Analyses de Cycle de Vie déjà réalisées Obligation réglementaire sur la fin de vie des navires peut contribuer au renforcement de l'autonomie par l'économie circulaire Existence de l'éco-organisme national agréé APER pour gérer la déconstruction et le recyclage des bateaux de plaisance et de sport Capacité industrielle française et savoir-faire des acteurs français (4 usines de recyclage de navires en France) 	<ul style="list-style-type: none"> Performance environnementale amont et aval des navires pas ou peu pris en compte par la réglementation et donc le marché Pas de méthodologie ACV partagée Réglementation contraignante d'approbation des matériaux, freinant l'innovation Accès à des matières premières décarbonées à des coûts compétitifs en Europe : le Mécanisme d'ajustement carbone aux frontières de l'UE renchérit l'accès aux matières premières pour les industriels européens, rétablir la distorsion de concurrence sur les produits finis importés (navires et équipements). 	<p>Maturité :</p> 

5.3. Rôle clé de l'architecture navale et de l'intégration des solutions dans les chantiers

L'architecte naval est un maillon essentiel de la décarbonation du secteur maritime, transverse aux différents leviers, œuvrant à leur intégration et articulation, depuis leur conception jusqu'à leur mise en œuvre, il opère véritablement en qualité d'agent liant et coordinateur du développement effectif de navire décarbonés.

Cette mission s'effectue en 2 étapes : premièrement, une définition précise des usages du navire et de ses performances attendues, puis, à profil d'usage donné, l'application d'une combinaison de leviers de décarbonation optimale afin de garantir la meilleure performance environnementale possible pour le navire dans une cohérence d'architecture globale adaptée au marin et répondant aux exigences de sécurité et de performance.

5.3.1. Définition Usages & Performances

La phase de **programmation** d'un navire est le moment de **penser l'usage voulu** sur **l'ensemble de sa durée de vie**, et les **performances associées**, afin de **répondre au besoin exprimé**. Cela peut se faire avec l'aide des compétences d'un architecte naval, qui par son expérience et son expertise, pourra être force de propositions pour définir et optimiser les usages du navire, et les performances et rentabilités associées, afin de réduire l'empreinte environnementale du navire. L'objectif est d'aboutir à la définition des usages et performances en ayant exploré les compromis optimisés entre vitesse et proportions, autonomie et encombrements des carburants et modes de propulsion.

Cette phase est essentielle car elle structurera l'architecture du navire sur sa durée de vie, souvent de l'ordre de 20 à 30 ans, parfois plus.

5.3.2. Conception optimale selon profil d'usage

Au-delà du rôle **d'intégrateur de solutions innovantes et décarbonées**, le maître d'œuvre est en charge de concevoir un navire adapté au programme des opérations. Par son approche globale, il veille à **proposer l'articulation de solutions innovantes cohérentes en s'appuyant sur des outils d'optimisation afin de trouver le meilleur équilibre**, permettant ainsi de définir l'architecture globale, pour **optimiser l'usage du navire selon le profil opérationnel**, et réduire son empreinte environnementale.

Ces solutions innovantes peuvent être de plusieurs ordres : profil et dimensions de la carène, technologies, systèmes, équipements embarqués, aménagements, ... Le succès d'un navire bas carbone réside autant dans les solutions intégrées que dans la réflexion et l'exécution d'un dessin global du navire pour trouver l'équilibre des propositions du navire, ses charges et usages et les équipements à bord.

6. Typologies de décarbonation par type de flotte

Sur la base des analyses réalisées à l'occasion de la feuille de route de décarbonation du secteur maritime, des groupes de travail ont été lancés, afin d'affiner au plus près des profils opérationnels et techniques de chaque flotte les différents leviers identifiés. Seulement quatre seront présentés à l'occasion de cette version révisée. Les prochains segments seront publiés à l'occasion de la nouvelle révision de ce document.

Ces groupes, coordonnés par Armateurs de France, ont été pilotés par un représentant des armateurs de chaque flotte concernée. Sont donc présentés ci-après une synthèse des GT Porte-conteneurs, transporteurs de gaz, grands navires de service et grands ferries. Le détail des travaux est présenté en Annexe 7.

6.1. Porte-conteneurs (PC)

Le segment de flotte des porte-conteneurs compte environ 650 navires sous contrôle de deux compagnies maritimes françaises : CMA CGM et Marfret. Parmi ces navires, environ 90 navires

ont souté une partie de leur carburant en France en 2022, pour un total de 411 kt équivalent fuel oil (176kt à Fos, 39 kt à Marseille, 53 kt à Montoir, 46 kt au Havre, 5 kt à Dunkerque, et 92 kt à Pointe-à-Pitre).

6.1.1. Caractéristiques et spécificités des porte-conteneurs

Le secteur d'activité des porte-conteneurs présente plusieurs caractéristiques distinctives qui influencent directement les stratégies de décarbonation des armateurs. L'activité est fortement internationale, avec des lignes maritimes touchant de nombreux pays, ce qui complexifie l'application uniforme des mesures de décarbonation. La flotte est optimisée au niveau mondial, permettant une gestion efficace des ressources mais compliquant la mise en œuvre de solutions locales. Les armateurs bénéficient d'une grande flexibilité dans le choix des ports de soutage, influençant l'adoption de carburants alternatifs en fonction de leur disponibilité géographique. La structuration de lignes régulières peut néanmoins permettre des stratégies de long terme en matière d'approvisionnement énergétique.




Porte conteneurs de MARFRET






Porte conteneurs propulsé au GNL de CMA CGM

On observe un renouvellement fréquent des navires desservant la France, offrant des opportunités régulières d'intégration de technologies plus vertes. La taille des navires varie considérablement, allant de 500 à 23 000 EVP nécessitant des solutions de décarbonation adaptées à différentes échelles. L'âge moyen de la flotte diffère entre les compagnies : 13 ans pour CMA CGM et 17 ans pour Marfret, influençant les stratégies de modernisation et de remplacement.

6.1.2. Pertinence des différents leviers de décarbonation

Energies et infrastructures	
 <p>Carburants moins carbonés & Capture carbone</p>	<p>La transition énergétique est au cœur de la stratégie de décarbonation à long terme de ce segment de flotte. Le GNL et le méthanol sont en cours d'adoption pour les nouvelles constructions, avec une majorité des nouvelles commandes équipées de moteurs dual-fuel GNL ou méthanol (18 milliards USD investis par CMA CGM dans une flotte de plus de 130 navires dual-fuel GNL ou methanol). L'incorporation progressive de biocarburants est prévue, avec des objectifs allant jusqu'à 10% pour le fioul lourd, 20% pour le méthane et 25% pour le méthanol d'ici 2030, sous réserve de disponibilité et de compétitivité des prix. Les e-carburants sont envisagés à partir de 2030, avec une priorité donnée à l'e-méthanol et l'e-méthane.</p>
 <p>Énergies renouvelables, électrification, autres énergies</p>	<p>La propulsion par le vent offre un gain potentiel de 5-6% (rétrofit) à 12% (construction neuve) sur une petite proportion de la flotte durant les 15 prochaines années (5%). Marfret a déjà réalisé des essais avec ce type de technologie. Le Groupe CMA CGM participe au projet NEOLINE, un projet de cargo à propulsion principale à la voile, prévu pour les routes transatlantiques. L'électrification à quai est en développement, répondant aux exigences réglementaires européennes pour les porte-conteneurs de plus de 5000 GT dans le cadre de la réglementation FuelEU maritime (obligatoire à partir de 2030). Les premières études relatives à l'hybridation ne sont pas concluantes.</p>

	sur la réduction de GES pour ce type de navire. L'emport de piles à combustible pour la consommation électrique à bord est en réflexion pour les constructions neuves.
Efficacité énergétique	
 <p>Efficacité opérationnelle</p>	Les mesures d'exploitation offrent des gains significatifs à court et moyen terme au segment des porte-conteneurs. L'excellence opérationnelle pourrait générer un gain de 5% sur 40 à 50% de la flotte , incluant des mesures comme l'optimisation des itinéraires et la gestion efficace de l'énergie à bord. CMA CGM a notamment investi plus de 20 millions de dollars dans son programme Smartship pour améliorer l'efficacité énergétique à bord. Le nettoyage régulier de la coque et des hélices est systématiquement mis en œuvre , avec des gains potentiels de 2 à 3% sur la consommation de carburant.
 <p>Design optimal et technologies</p>	Ce levier constitue un pilier essentiel de la stratégie de décarbonation. L'optimisation hydrodynamique (forme de bulbe, revêtement de carènes) et du rendement propulsif sont déjà largement réalisées , avec des investissements significatifs notamment par CMA CGM (200 millions USD consacrés sur 10 ans). Le Groupe CMA CGM a par exemple testé et validé plusieurs solutions comme le windshield , qui a démontré sa capacité à réduire les émissions de CO2 sur un navire, ou encore l'équipement d'alternateur attelé au moteur de propulsion principal de 10 nouveaux porte-conteneurs afin de produire l'énergie nécessaire à alimenter les installations électriques à bord.
Sobriété	
 <p>Sobriété d'exploitation & de conception</p>	La réduction de la vitesse est une stratégie majeure , avec une baisse envisagée de 15% sur 80% de la flotte, offrant des économies de carburant substantielles.

6.1.3. Bilan

Les objectifs de réduction des émissions du segment de flotte porte-conteneurs sont ambitieux et s'alignent sur les objectifs internationaux, même si les dispositions réglementaires ne sont pas contraignantes à l'échelon international à ce jour. La transition vers des énergies moins carbonées et renouvelables est progressive, avec une augmentation prévue de l'utilisation de biocarburants et d'e-carburants, sous réserve de disponibilité et de compétitivité des prix. A date la volumétrie patine et l'absence d'une ambition internationale réglementaire crée des distorsions de compétitivité et pénalise les acteurs pionniers. L'efficacité énergétique et l'excellence opérationnelle demeurent des piliers essentiels, avec des investissements continus dans ces domaines.

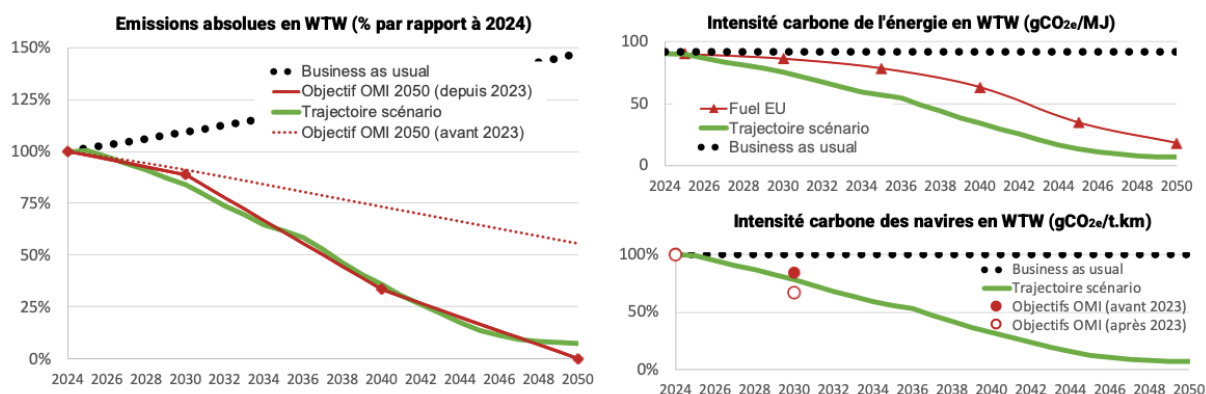
Plusieurs domaines nécessitent une attention particulière pour faciliter la transition écoénergétique de ce segment de flotte :

- Le **développement de l'offre de carburants renouvelables et bas-carbone** en France et dans le monde est crucial, notamment pour le biodiesel, le bio/e-méthane, le bio/e-méthanol et l'e-ammoniac, avec notamment la **mise en place d'une fiscalité favorable pour ces carburants décarbonés ou d'un low-carbon bonus**.
- Le **déploiement de démonstrateurs pour les nouvelles technologies**, comme la propulsion vélique et la capture de CO2 à bord, est crucial pour valider leur efficacité à grande échelle.
- La mise en place de **subventions pour l'électricité à quai et des garanties sur son origine renouvelable**

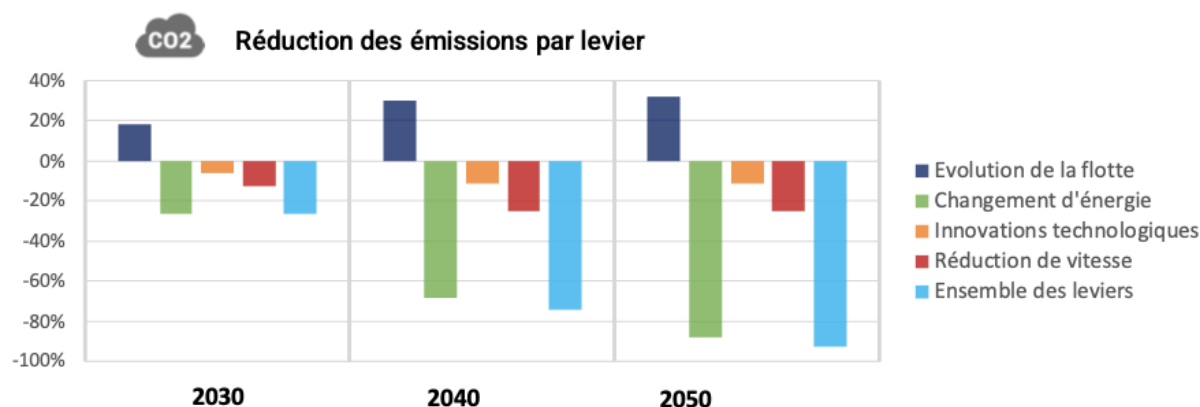
- **L'homogénéisation des différentes réglementations européennes et internationales**, notamment dans leur prise en compte des nouveaux carburants (facteurs d'émission, certification) et de l'énergie vélique.
- Le **financement de la recherche** et des aménagements nécessaires à la transition doit être assuré, notamment par la redistribution des taxes collectées dans le secteur maritime.

6.1.4. Scénario de décarbonation

Pour le segment « Porte-conteneur », le scénario se fonde sur une croissance modérée (+1,5% par an), et l'utilisation d'un mix énergétique intégrant progressivement des bio-carburants et e-carburants, ainsi que le déploiement d'innovations technologiques, et une possible adaptation de la vitesse de navigation des navires. La combinaison de ces leviers permet de suivre les objectifs de décarbonation à 2030, et de suivre une tendance baissière des émissions absolues et de l'intensité carbone globale des navires opérés. Toutefois la disponibilité en quantité suffisante de bio-carburants et de e-carburants, ainsi que leur coût restent un obstacle majeur à la décarbonation, obstacle non résolu à ce jour.



Le changement d'énergie apparaît comme un levier majeur de décarbonation pour ce segment, il permet notamment de compenser la croissance des émissions dues à l'augmentation de la flotte. Ce levier sera renforcé à part égale par l'introduction d'innovations technologiques et de mesure opérationnelles.



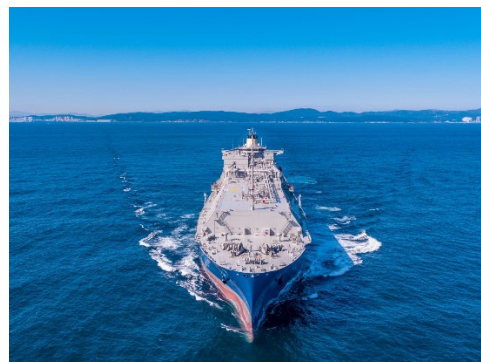
6.2. Transporteurs de gaz

La flotte française de navires transporteurs de gaz se compose principalement de 32 méthaniers, représentant 3% de la flotte mondiale, d'un navire souleveur de GNL, et de 4 navires GPL. Cette flotte est relativement jeune, avec un âge moyen inférieur à 4 ans pour les navires GPL et 3 ans pour les méthaniers. Les projections indiquent une croissance significative sur les

prochaines décennies, avec une estimation de 45 navires en 2030 et 60 en 2050 pour les méthaniers (croissance de 100% environ sur 25 ans). Cette évolution souligne l'importance croissante de ces types de navires dans un contexte où le GNL est largement considéré comme un carburant de transition.



Navire gazier opéré par Knutsen LNG France



Navire gazier opéré par Orion LNG

6.2.1. Caractéristiques et spécificités des méthaniers et transporteurs de GPL

Les **méthaniers** constituent une flotte homogène avec une capacité moyenne de transport d'environ 175 000 m³. Ils sont équipés de moteurs lents à 2 temps pouvant fonctionner au gaz naturel, au MDO ou au VLSFO. Leur fonction unique est le transport de gaz naturel liquéfié. Une particularité importante de ces navires est l'utilisation du "**boil-off**", c'est-à-dire l'évaporation naturelle de la cargaison, comme carburant, ce qui permet d'éliminer les émissions de SO_x, NO_x et particules fines et de réduire les émissions de CO₂ de 15 à 20 %. Néanmoins ce carburant peut engendrer des émissions de méthanes imbrulés (methane slip) et des émissions fugitives.





Les **navires GPL** se distinguent par une capacité de transport variant de 35 000 à 90 000 m³. Ils sont équipés de systèmes de propulsion avec moteur lent 2 temps. Ces navires sont de type réfrigéré et certains ont la particularité de pouvoir utiliser leur cargaison (GPL) comme carburant, qui permet également d'éliminer les émissions de SO_x, NO_x et particules fines et de réduire les émissions de CO₂ de 15 à 20 %.



Navire gazier opéré par GEOGAS

6.2.2. Pertinence des différents leviers de décarbonation

Energies et infrastructures	
	<p>Pour le segment de flotte des méthaniers et transporteurs de GPL, les piles à combustible (PEM et SOFC) sont estimées présenter un potentiel de réduction des émissions estimé à 20%. Cependant, elles font face à des défis majeurs,</p>

<p>Carburants moins carbonés & Capture carbone</p>	<p>notamment le volume perdu à bord pour le stockage de l'hydrogène, l'absence d'une réglementation maritime stabilisée et le coût. Les biocarburants, quant à eux, offrent un potentiel de réduction limité à 5% pour les navires gaziers, principalement en remplaçant le carburant pilote. Leur déploiement est freiné par une disponibilité jugée limitée et un coût élevé. L'ammoniac se distingue par un potentiel de réduction élevé, atteignant 80%, mais son niveau de maturité technologique reste bas en 2024, avec des défis importants en termes de sécurité et de toxicité. Le méthanol, s'il n'est pas vert, offre un potentiel de réduction de 10%. Il présente l'avantage d'un stockage à température ambiante et bénéficie d'un retour d'expérience sur le transport, mais son coût élevé et sa toxicité restent également des obstacles. La capture de CO2 offre un potentiel très élevé de réduction, atteignant 90%, mais cette technologie est encore peu mature. Elle fait face à des défis majeurs concernant le stockage à bord, la logistique de débarquement et des coûts élevés du CO2 capturé.</p>
 <p>Énergies renouvelables, électrification, autres énergies</p>	<p>La propulsion vélique est une option prometteuse pour les méthaniers et les transporteurs de GPL avec un potentiel de réduction estimé à 25%. Elle présente l'avantage d'utiliser une énergie renouvelable et d'améliorer l'EEDI de ces navires, dont beaucoup seront construits dans les années à venir. Cependant, son efficacité dépend fortement des conditions météorologiques et du système de routage associé ; elle pose des défis en termes de maintenance et d'opération (adaptée à certaine route, utilisation limitée en pleine mer...).</p>
Efficacité énergétique	
 <p>Efficacité opérationnelle</p>	<p>L'optimisation du routage, l'optimisation du trim et d'autres techniques (réduction de vitesse, optimisation des opérations de ballast, etc.), présentent un potentiel combiné de réduction des émissions pouvant atteindre 15%. Ces mesures ont l'avantage de pouvoir être mises en œuvre à court terme et à des coûts relativement faibles sur des navires neufs ou existants.</p>
 <p>Design optimal et technologies</p>	<p>L'optimisation des formes de la coque peut conduire à une réduction des émissions des méthaniers et transporteurs de GPL allant jusqu'à 15%, mais cette mesure est principalement applicable aux nouvelles constructions. La lubrification par air offre un potentiel de réduction de 8% mais nécessite une consommation électrique importante. Les alternateurs attelés présentent un potentiel intéressant avec une réduction estimée à 15% en éliminant les émissions ainsi que le méthane slip liés aux groupes électrogènes en mer. Enfin, la réduction du méthane slip, avec un potentiel de 10%, revêt une importance particulière pour les méthaniers (gain possible de 3% pour les moteurs à deux temps et de 10% pour les moteurs à quatre temps) et sera intégrée dans le système d'échange de quotas d'émission (ETS) en 2026.</p>
Sobriété	
 <p>Sobriété d'exploitation & de conception</p>	<p>Le secteur envisage la réduction des vitesses</p>

6.2.3. Bilan

Les mesures opérationnelles et certaines mesures de design peuvent offrir au segment des méthaniers et transporteurs de GPL des gains à court terme, relativement faciles à mettre en œuvre. En revanche, les carburants alternatifs et les technologies avancées comme la capture de CO2 et les solutions de propulsion par le vent présentent un potentiel plus élevé à long terme, mais nécessitent des développements technologiques et réglementaires importants. La décarbonation du secteur des navires transporteurs de gaz nécessitera donc une approche

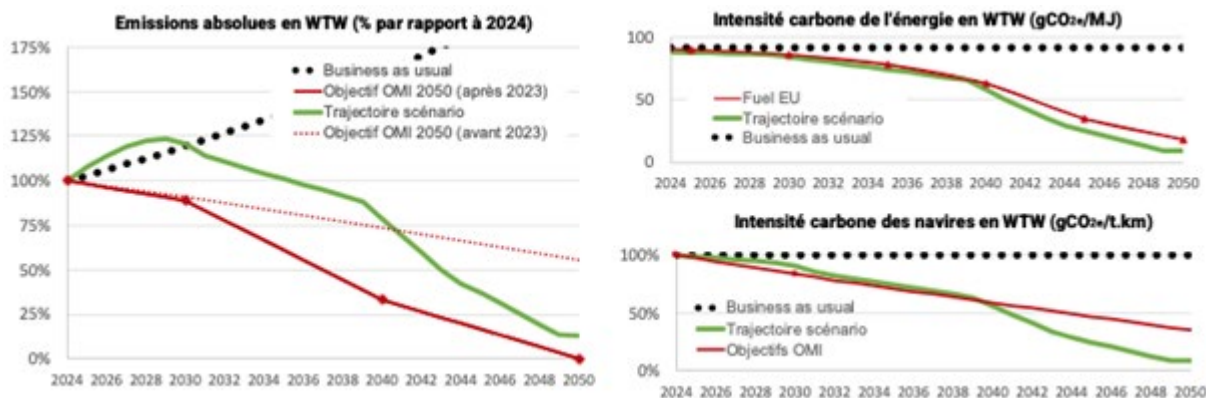
multi-facette, combinant des améliorations progressives à court terme et des innovations de rupture à plus long terme.

Outre le développement de l'offre française, et de la formation des opérateurs pour les différents leviers identifiés comme pertinents, le GT transporteur de gaz a insisté sur la nécessité de faciliter le suramortissement pour l'implémentation des technologies, et formulé les préconisations de développements suivants :

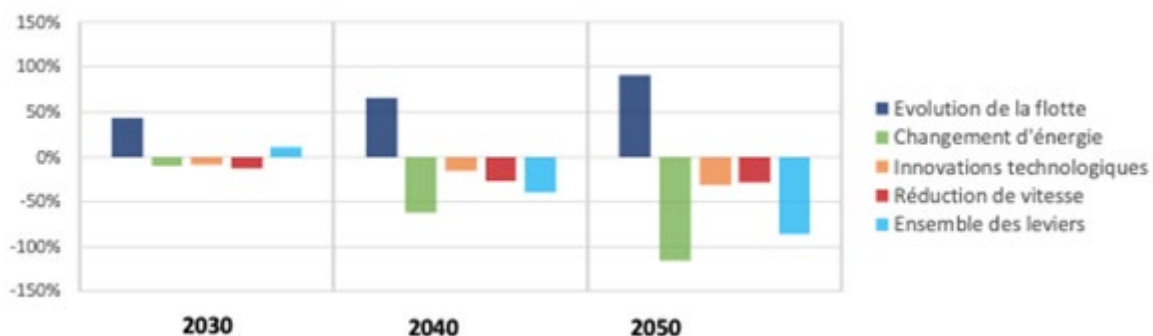
- **Fuel Cell PEM** : développer les technologies, les solutions de stockage d'hydrogène et de soutage ;
- **Propulsion vélique** : déployer des démonstrateurs à bord des gaziers, associer une solution de routage efficace ;
- **Capture Carbone** : déployer des démonstrateurs à bord des gaziers, développer les solutions de stockage à bord et les infrastructures pour le déchargement du CO₂ ;
- **Carburants alternatifs** : poursuivre les développements techniques des moteurs, assurer la disponibilité des carburants à un coût compétitif, développer la chaîne d'approvisionnement et de soutage, amender la réglementation pour faciliter l'utilisation en toute sécurité, travailler à réduire les fuites de méthane.

6.2.4. Scénarios

Pour le segment « Transporteur de gaz », les scénarios se fondent sur une forte croissance du nombre de navires en service (+10% annuel sur les cinq prochaines années), suivi d'une croissance modérée (+1,5% annuel) : cette tendance conduit à court terme à une hausse des émissions (la croissance la flotte contribuant à une augmentation de +45% à 2030, +65% à 2040 et +90% à 2050). Cependant, l'évolution de la demande en carburants alternatifs conduirait ce segment à transporter et consommer une énergie par conséquent moins carbonée (bio-gaz, e-carburants).



Le changement d'énergie sera un levier majeur de décarbonation pour ce segment, permettant une baisse d'émissions de -10% à 2030, -65% à 2040 et -120% à 2050 ; ce levier sera renforcé à part égale par l'introduction d'innovations technologiques et de mesure opérationnelles (contribuant à une diminution de -25% à 2030, -45% à 2040 et -60% à 2050). La trajectoire du scénario prévoit d'atteindre une réduction des émissions à 60% des objectifs en 2040 et à 10% des objectifs en 2050 de l'OMI (courbe après 2023), la réduction attendue étant de -40% à 2040 et -90% à 2050.



6.3. Grands navires de service

Le segment des grands navires de service englobe une grande variété de navires spécialisés : 4 remorqueurs de sauvetage et d'assistance, un remorqueur de manutention d'ancre, un navire de lutte contre la pollution, 5 navires océanographiques aux capacités variées, un cargo-océanographique (le Marion Dufresne), 16 navires câbliers, un navire de survey. Le secteur de l'éolien offshore y est représenté par 3 navires de service (SOV), tandis qu'une drague aspiratrice en marche complète cet inventaire diversifié.



Câblier Sophie Germain d'Orange Marine



Le Pourquoi Pas ? de GENAVIR pour IFREMER

6.3.1. Caractéristiques et spécificités des grands navires de service

Ces navires se distinguent par leurs fonctions hautement spécialisées. Ils sont conçus pour effectuer des travaux sous-marins complexes, réaliser des relevés scientifiques ou techniques pointus, et pour la plupart d'entre eux maintenir un positionnement dynamique d'une grande précision. Leur mode de propulsion se démarque significativement de celui des navires de transport traditionnels. On trouve ainsi, des systèmes de propulsion diesel-électrique sur certaines unités témoignant de l'évolution technologique du secteur.

La nature hautement spécialisée de ces navires les place dans une catégorie à part en termes de réglementation énergétique. Les indices EEDI, EEXI et CII, couramment utilisés pour évaluer l'efficacité énergétique des navires de commerce, sont inapplicables à cette flotte. Actuellement, ces navires sont exclus des réglementations de l'UE et de l'OMI en la matière. Cependant, un travail est en cours pour envisager leur inclusion dans le système d'échange de quotas d'émission de l'UE (EU ETS), ce qui pourrait marquer un tournant dans la gestion de leur impact environnemental.





Les flottes de grands navires de service présentent des profils de consommation variés, reflétant la diversité de leurs missions et zones d'opération. En 2022, les consommations s'échelonnent de 7 001 m³ pour Les Abeilles à 78 700 m³ pour LDA - ASN 5 850 m³ pour Genavir - Ifremer et 18 155 m³ de MDO pour Orange marine. Le Grand Port Maritime Nantes-St Nazaire s'appuie, pour sa drague, sur une consommation mixte de 1 200 m³ de MGO et 380


m3 de GNL. La répartition géographique de ces consommations varie considérablement : Les Abeilles et Orange Marine se concentrent sur les façades Manche/Atlantique et Méditerranée, tandis que Genavir - Ifremer et LDA - ASN ont une présence mondiale significative. Le GPM Nantes-St Nazaire partage ses activités entre Nantes/St Nazaire et Rouen/Le Havre.

La flotte française de grands navires de service présente une grande diversité en termes d'âge et de caractéristiques. Les remorqueurs de sauvetage affichent un âge moyen de 17 ans, tandis que les navires océanographiques, plus anciens, ont en moyenne 26 ans. Les câbliers, plus récents, ont un âge moyen de 10,6 ans, et la drague aspiratrice a 22 ans. Cette disparité d'âge reflète les différents cycles de renouvellement et d'investissement dans chaque sous-secteur.

Cette diversité souligne la complexité des défis de décarbonation dans ce secteur et la nécessité d'approches personnalisées pour chaque type de navires.

6.3.2. Pertinence des différents leviers de décarbonation

Energies et infrastructures	
 Carburants moins carbonés & Capture carbone	<p>Le paysage des options énergétiques pour ces navires est vaste et en constante évolution. Le GNL, bien que prometteur, présente des défis liés au volume de stockage nécessaire pour assurer une autonomie comparable aux carburants traditionnels. Les biocarburants font l'objet de tests approfondis au sein de ce segment de flotte, notamment avec du B30 et B100. Les e-carburants comme le méthanol et l'ammoniac suscitent un intérêt mais soulèvent des difficultés en matière d'approvisionnement ou de dangerosité.</p>
 Énergies renouvelables, électrification, autres énergies	<p>L'électrification et l'hybridation gagnent du terrain, le branchement à quai pouvant générer des économies allant jusqu'à 35% sur la consommation de gasoil compte tenu des périodes assez longues à quai pour certains navires de cette flotte, notamment les remorqueurs de sauvetage et les câbliers, tandis que les batteries, notamment pour les SOV, atteignent des capacités de plusieurs MWh. La propulsion par le vent, via des systèmes de kite, présente un potentiel de réduction significatif. Enfin, l'hydrogène fait l'objet d'études prometteuses, avec une faisabilité démontrée pour une autonomie de 2 jours sur un SOV, ou la possibilité de l'envisager une solution embarquée pour l'alimentation électrique à quai. Chacune de ces options présente ses propres défis en termes de stockage, d'approvisionnement et d'adaptation réglementaire, nécessitant une approche nuancée et adaptée à chaque type de navire.</p>
Efficacité énergétique	
 Efficacité opérationnelle	<p>Les leviers opérationnels jouent un rôle crucial dans la réduction de la consommation énergétique des grands navires de service. L'excellence opérationnelle, qui comprend l'optimisation du rapport vitesse/consommation, le bullage, le routage météo, et l'optimisation des systèmes de positionnement dynamique est au cœur de ces efforts.</p>
 Design optimal et technologies	<p>L'amélioration de l'efficacité énergétique de ces navires repose sur plusieurs leviers clés. L'amélioration du rendement propulsif est cruciale, impliquant l'adoption de propulseurs innovants (notamment à pales variables) et l'hybridation de la propulsion. L'optimisation de la consommation d'énergie à bord passe par diverses mesures, telles que le passage à l'éclairage LED, l'installation de batteries pour absorber les pics de puissance exigés par le système de positionnement dynamique, et le remplacement des systèmes hydrauliques (par exemples des appareils de levage, parfois très imposants sur ces navires) par des alternatives électriques. Il est important de noter que l'applicabilité et l'efficacité de ces leviers varient considérablement selon le type de navire, chaque catégorie présentant ses propres défis et opportunités spécifiques. Le nettoyage régulier de la coque et des hélices, avec un passage</p>

	de 5 ans à 2,5 ans entre les carénages pour certains navires, contribue également à maintenir l'efficacité énergétique. La combinaison de ces différentes mesures peut conduire à une réduction significative de la consommation.
Sobriété	
 <p>Sobriété d'exploitation & de conception</p>	La sobriété énergétique, notamment par la réduction de la vitesse lors des transits ou des patrouilles, offre des gains significatifs.

6.3.3. Bilan

Les armateurs du segment élaborent des stratégies variées pour faire face aux défis de la décarbonation. Pour les remorqueurs, par exemple, Les Abeilles misent sur le branchement électrique à quai pour l'ensemble de leur flotte et s'engagent dans un partenariat innovant pour le déploiement de kites, avec des essais prévus sur des ailes allant de 50 m² à 400 m². Genavir - Ifremer adopte une approche à long terme avec le nouveau navire NSH, conçu avec une capacité de jumboisation à mi-vie en 2045, et prévoit le remplacement de l'Atalante pour 2030-2032. Orange Marine se tourne vers l'hybridation avec un nouveau navire Gasoil/Électrique et l'amélioration de son câblier René Descartes pour une connexion au courant terrestre. Le GPM Nantes St Nazaire envisage une construction neuve d'ici 2032, tandis que LDA - ASN explore des scénarios de rétrofit ambitieux pour ses câbliers et SOV, incluant l'utilisation de biocarburants, le branchement à quai, l'augmentation de la capacité des batteries, et l'intégration de piles à combustible hydrogène. Ces stratégies diverses reflètent la complexité du segment des grands navires de service et la nécessité d'adapter les solutions aux contraintes opérationnelles et réglementaires spécifiques à chaque type de navire.



Remorqueur de la compagnie LES ABEILLES



Pilote en opération d'avitaillement de HVO

Pour réaliser cette transition vers une flotte plus verte, plusieurs axes de développement prioritaires ont été identifiés :

- Le **développement des infrastructures électriques** pour le branchement à quai est crucial, avec un besoin particulièrement marqué sur les ports de Calais et Brest.
- L'**adaptation de la réglementation technique**, aux nouvelles technologies est indispensable pour permettre leur déploiement à grande échelle.
- La **distribution des nouveaux carburants** représente un défi logistique majeur, nécessitant l'établissement d'une cartographie précise de la distribution de GNL, Méthanol, Éthanol, Bio gasoil et H₂ à court et moyen termes.
- Enfin, la **recherche de solutions de financement** pour ces transitions technologiques est essentielle pour permettre aux armateurs d'investir dans ces nouvelles solutions. Dans le contexte de redistribution des revenus de l'ETS pour la décarbonation de la filière

maritime que demande la profession, des projets d'électrification des quais et des navires dans certains ports pourraient être ainsi soutenus.

La réussite de ces chantiers nécessite une collaboration étroite entre les armateurs, les autorités portuaires, les régulateurs et les fournisseurs de technologies, soulignant l'importance d'une approche concertée et multisectorielle dans la décarbonation de cette flotte spécialisée.

6.4. Grand ferries (GFE)

La flotte française de grands ferries se compose de 31 navires opérés par quatre armateurs en France. La flotte est répartie deux principales façades maritimes : Manche/Atlantique et Méditerranée.



Navire A Galeotta, navire GNL de Corsica Linea entré en service en 2023



Le Ferry à propulsion hybride GNL/électrique Saint-Malo de Brittany Ferries





6.4.1. Caractéristiques et spécificités des grands ferries


Les grands ferries se caractérisent par longueur moyenne d'environ 180m, et une puissance très significative, allant de 25 000 à 31 500 kW pour les moteurs principaux. Leur jauge brute s'établit en moyenne à 31 935 UMS, témoignant de leur capacité de transport importante, de véhicules et de passagers. L'âge moyen de la flotte varie considérablement selon les armateurs, s'échelonnant de 14 à 25 ans, pour une moyenne de 18 ans et demi ce qui souligne en premier lieu ma longue durée de vie de ce type de navire et donc la nécessité d'une modernisation progressive.

Ces navires se caractérisent par une vitesse relativement élevée par rapport à d'autres segments de flotte, ce qui pose des défis particuliers en termes d'efficacité énergétique. Leur conception, avec des formes courtes et des superstructures hautes, les rend moins efficaces sur le plan énergétique. De plus, leur exploitation sur des lignes fixes avec des horaires précis entre deux ports ou plus, et dans des zones maritimes où se concentrent de multiples usages, limite les possibilités d'optimisation des itinéraires.

Le coût élevé de ces navires, estimé à plusieurs centaines de millions d'euros par unité, ainsi que la difficulté de les produire en série, compliquent le renouvellement de la flotte. Le transport de passagers implique également des règles de sécurité plus contraignantes que pour les autres types de navires, qui peuvent entrer en conflit avec certaines solutions de décarbonation. L'espace contraint à bord et les hautes superstructures limitent les options de rétrofit et d'installation de nouvelles technologies.

6.4.2. Pertinence des différents leviers de décarbonation

Energies et infrastructures	
 Carburants moins carbonés & Capture carbone	<p>Le GNL est actuellement utilisé ou considéré par 3 des 4 armateurs du segment de flotte des grands ferries, avec 3 navires déjà en opération et 3 en construction utilisant ce carburant. Cependant, le défi du methane slip, qui peut réduire les bénéfices environnementaux reste à surmonter. Les biocarburants présentent un potentiel intéressant, avec une incorporation possible immédiatement de biodiesel dans les moteurs actuels. Le biométhane suscite un intérêt croissant, pouvant réduire les émissions de CO2 par rapport au GNL fossile. Les e-carburants, bien que reconnus comme nécessaires à long terme, font face à des défis de maturité technologique et de coûts, par rapport aux carburants conventionnels.</p>
 Energies renouvelables, électrification, autres énergies	<p>L'électrification montre un potentiel significatif pour les manœuvres et les escales, avec des systèmes de batteries pouvant atteindre 10 MWh de capacité. Cependant, pour les longues traversées, les limites en termes de poids et d'autonomie des batteries restent un obstacle majeur. D'autres facteurs limitants sont également relevés pour ce type de technologie : les capacités des ports à fournir la puissance suffisante, les normes de connexion, les problématiques de fréquence, ainsi que des enjeux économiques et plusieurs défis techniques (points de connexion, automatisation des connexions). La propulsion par le vent, bien que prometteuse pour d'autres types de navires, s'avère difficile à mettre en œuvre sur les ferries en raison de leur vitesse d'exploitation.</p>
Efficacité énergétique	
 Efficacité opérationnelle	<p>L'optimisation des opérations joue un rôle crucial dans la réduction des émissions des grands ferries. L'optimisation des temps d'escale est particulièrement importante, chaque minute gagnée pouvant se traduire par des économies de carburant significatives. Le routing météo, bien qu'applicable au cas par cas selon les zones d'opération, peut permettre des gains variables sur la consommation de carburant, d'autant plus importants que les traversées sont longues. Les armateurs investissent dans des outils d'aide à la décision, encore en cours d'étude, qui pourraient améliorer l'efficacité opérationnelle. Le monitoring de performance, déjà répandu, fait l'objet d'une adaptation constante, avec des systèmes peu à peu capables de suivre en temps réel la consommation et les émissions. La formation du personnel, en plein développement, vise à sensibiliser les équipages aux pratiques d'écoconduite.</p>
 Design optimal et technologies	<p>Un certain nombre améliorations techniques offrent des perspectives prometteuses pour le segment des grands ferries. Le revêtement des carènes avec des peintures innovantes peut générer des gains d'efficacité allant jusqu'à 10%. La modification du bulbe, bien que plus complexe à mettre en œuvre, peut apporter des gains de quelques pourcentages. L'optimisation des formes du navire, réalisable principalement sur les nouvelles constructions, présente un potentiel de gains entre 5 et 20% selon les études hydrodynamiques. L'optimisation du rendement propulsif, notamment par le remplacement des pâles des hélices, peut conduire à des gains impressionnants de 8 à 18% à condition d'être combiné avec une modification du schéma opérationnel du navire. Enfin, l'optimisation de la consommation d'énergie à bord, par exemple par l'installation de systèmes ORC (Organic Rankine Cycle), de chaudières de récupération et le passage à l'éclairage LED, peut réduire la consommation énergétique globale des navires.</p>

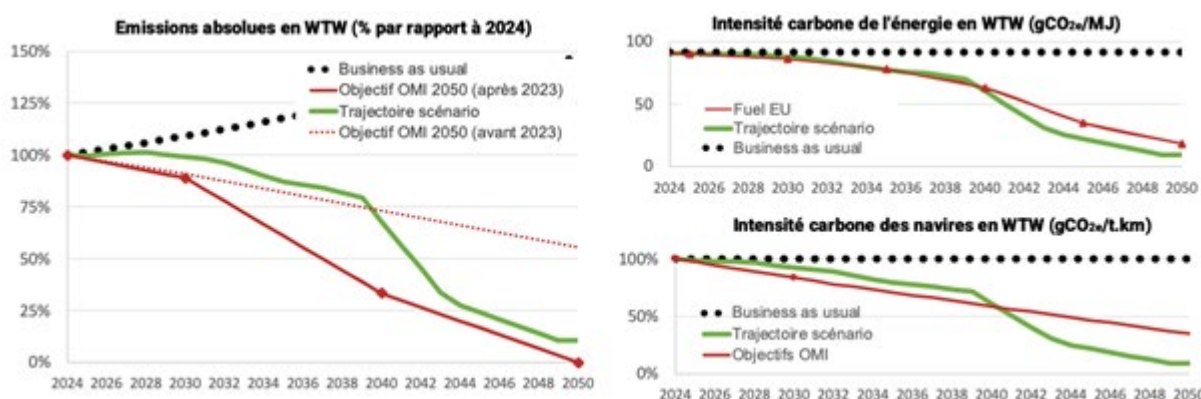
Sobriété	
 <p>Sobriété d'exploitation & de conception</p>	Le secteur envisage la réduction des vitesses à ce stade.

6.4.3. Bilan

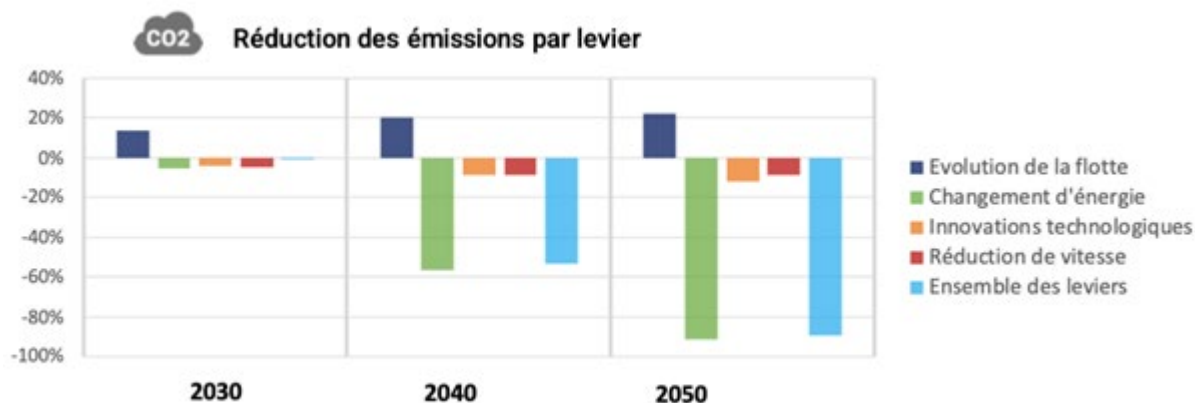
La décarbonation des grands ferries présente des défis complexes mais surmontables. Les armateurs explorent activement diverses solutions, avec un focus sur l'optimisation opérationnelle, l'efficacité énergétique et l'adoption progressive de carburants alternatifs. L'électrification partielle et l'utilisation de GNL apparaissent comme des solutions à court terme. À moyen terme, l'incorporation croissante de biocarburants pourrait soutenir l'effort de réduction des émissions. Les e-carburants sont envisagés pour le long terme. La collaboration entre armateurs, et ports, et le développement d'infrastructures adaptées seront cruciaux, nécessitant des investissements estimés à plusieurs milliards d'euros dans les prochaines décennies pour atteindre les objectifs ambitieux de décarbonation du secteur.

6.4.4. Scénarios

Pour le segment « Grands ferries », le scénario se fonde sur une croissance modérée du nombre de navires en service (+1,5% par an), et l'utilisation d'un mix énergétique intégrant progressivement des bio-carburants et e-carburants, l'électrification de certains usages, ainsi que le déploiement d'innovations technologiques, et une possible adaptation de la vitesse de navigation des navires. La combinaison de ces leviers permet de suivre les objectifs de décarbonation à 2030, et de suivre une tendance baissière des émissions absolues et de l'intensité carbone globale des navires opérés. Compte tenu de la durée d'exploitation des navires – supérieure à celle des segments Porte-conteneurs et Transporteurs de gaz –, les navires utilisant de l'énergie fossile restent plus longtemps en flotte, ce qui explique des niveaux d'intensité carbone de la flotte et d'émissions légèrement supérieure à celle des autres segments ; cependant, cette durée supérieure d'exploitation épargne les émissions carbonées liées à la construction de navires neufs.



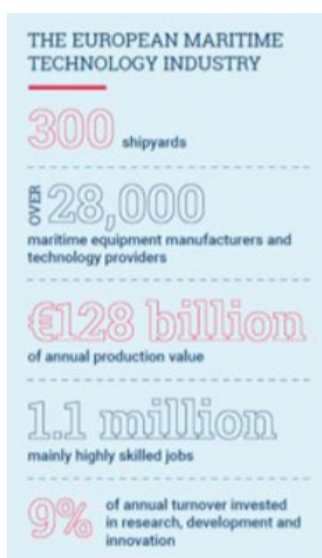
Le changement d'énergie apparaît comme un levier de décarbonation important pour ce segment, contribuant à réduire les émissions de -5% à 2030, -57% à 2040 et -91% à 2050 : il permet de compenser la croissance des émissions dues à l'augmentation de la flotte (+13% à 2030, +20% à 2040 et +22% à 2050) ; ce levier sera renforcé à part égale par l'introduction d'innovations technologiques et de mesure opérationnelles (contribuant à une diminution de -9% à 2030, -17% à 2040 et -20% à 2050) et orientant ainsi les émissions vers à moins de 10% de leur niveau actuel.



7. L'offre des solutions et capacités industrielles pour la décarbonation

7.1. Capacités industrielles européennes pour une politique maritime européenne¹⁶

Les chantiers navals européens se distinguent par leur expertise dans la construction de navires complexes et technologiquement avancés, tant civils que militaires. Portés par une capacité industrielle d'environ 300 chantiers navals spécialisés dans la construction, la réparation, la maintenance et la conversion de divers types de navires, les chantiers européens sont reconnus pour leur capacité à construire des navires à forte valeur ajoutée, tels que des navires de croisière, des ferries, des navires spécialisés et des bâtiments militaires.



La réparation navale accueille elle l'ensemble des typologies de navires et offre des capacités de retrofit sur l'ensemble de la flotte de navires même ceux construits en Asie. La capacité de mise en œuvre de retrofit concerne par exemple l'installation d'une propulsion auxiliaire vélique, le changement de bulbe et de propulsion, le remplacement de la motorisation, l'installation d'un système de batteries ou de traitement des fumées ou encore la jumboïsation des navires pour l'installation de modules pour la décarbonation

Les équipementiers européens occupent une position de leader mondial dans l'industrie navale. Ils sont composés d'environ 28 000 entreprises de tailles variées, allant des grandes entreprises aux petites et moyennes entreprises (PME). Ces entreprises fournissent une gamme diversifiée de matériaux, systèmes, équipements et services, notamment en ingénierie et en conseil.

En termes de capacité, ces équipementiers génèrent une production annuelle d'environ 70 milliards d'euros et emploient directement plus de 320 000 personnes. Ils détiennent environ 50 % de la part de marché mondiale dans leur domaine, ce qui

¹⁶ Source SEA Europe

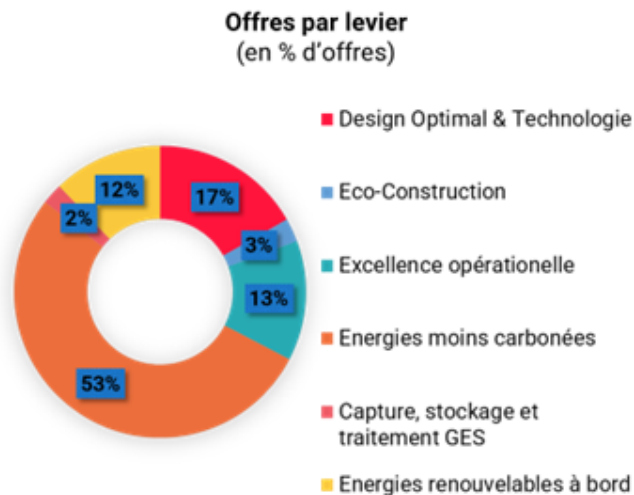
témoigne de leur compétitivité et de leur expertise technologique.

Malgré ces atouts, les chantiers navals et équipementiers européens font face à des défis, notamment une concurrence accrue de la part des chantiers asiatiques et la nécessité d'adopter des technologies durables et numériques. Pour renforcer leur position, SEA Europe appelle à une stratégie européenne visant à construire 10 000 navires durables et numérisés d'ici 2035, soulignant l'importance de l'innovation et de la coopération au sein de l'industrie maritime européenne.

7.2. Panorama des solutions industrielles

En s'appuyant sur les sources ouvertes disponibles¹⁷, le Groupement des Industries de Construction et Activités Navales (GICAN) a élaboré un panorama détaillé des solutions françaises dédiées à la décarbonation du secteur maritime qui s'inscrivent dans les leviers identifiés par la feuille de route de décarbonation du maritime. Ce panorama recense les technologies et solutions développées par les entreprises françaises pour réduire les émissions de gaz à effet de serre dans le domaine naval. A la fin 2024, ce sont plus de 380 offres de solutions portées par plus de 250 acteurs qui ont été recensées.

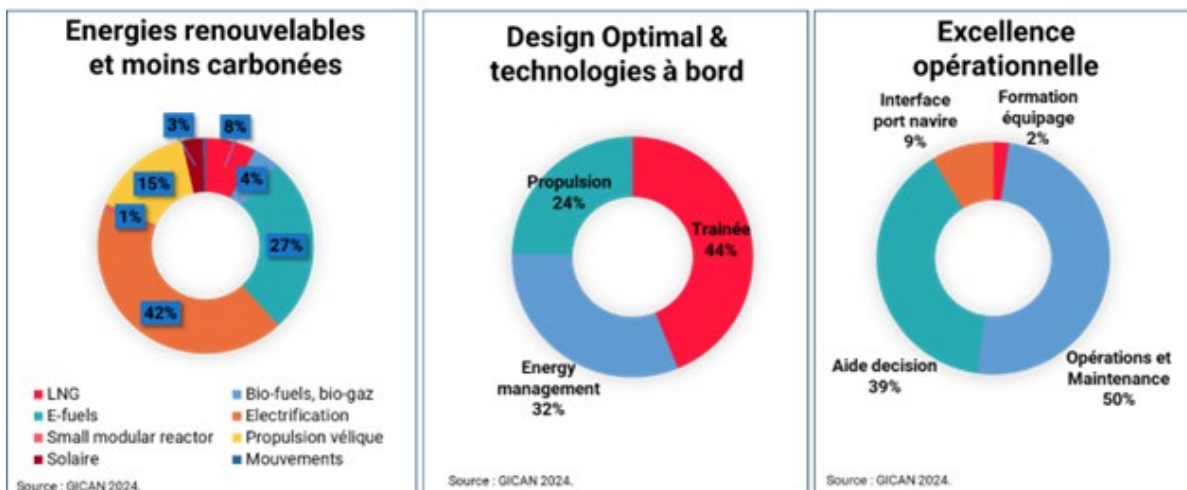
Ces offres adressent en grande partie les énergies moins carbonées stockées à bord (53%), les technologies pour le design (17%), l'excellence opérationnelle (13%), l'utilisation des énergies renouvelables à bord (12% principalement la propulsion par le vent).



Source : GICAN 2024.

Les énergies adressées par les différentes solutions portées par les entreprises françaises sont principalement en lien avec l'électrification, les e-carburants et la propulsion par le vent. Les technologies destinées pour augmenter l'efficacité énergétique en lien avec le design des navires adressent la trainée (44%) la gestion de l'énergie à bord (32%) et la propulsion (24%). Les technologies de l'information inventoriées permettent l'élaboration de solutions pour l'excellence opérationnelle par principalement l'optimisation des opérations et de la maintenance (50%), par l'aide à la décision des marins et gestionnaires de flottes (39%) et l'interface port navire

¹⁷ Presse, sites internet, projets d'innovation des pôles de compétitivité et travaux



Cette offre française diversifiée est soutenue par une industrialisation des solutions et par le déploiement de premières usines pour les équipementiers véliques (Saint Nazaire, Lanester, Caen) et plus généralement pour les technologies vertes (batteries, piles à combustibles, etc). Elle reste en demande de visibilité sur les besoins et les marchés en lien avec les armateurs et de premières commandes effectives au-delà des projets de R&D.

7.3. Offre française en lien avec les résultats des segments de flottes étudiés

Les travaux des GT par segment de flotte pour la mise à jour de cette feuille de route synthétisent la vision et la demande des armateurs français sur leurs flottes spécifiques. L'industrie navale française souhaite se saisir de cette expression de besoins pour assurer l'adéquation de l'offre et de la demande.

La synthèse des besoins pour les grands ferries plaide pour des démonstrateurs de ferries 100% électrique, des solutions vélique adaptée aux contraintes structurelles des ferries et à leurs opérations ainsi que des solutions de branchement à quai des petits ports et ports insulaires. L'offre française en lien avec les besoins de ces trois démonstrateurs est particulièrement fournie avec de nombreux acteurs travaillant sur le sujet.

La synthèse pour les gaziers fait émerger les thématiques particulières en lien avec l'industrie navale des piles à combustible, de la propulsion par le vent, de la capture de carbone et plaide pour des démonstrateurs intégrant ces technologies. Cette vision renforce le besoin de rapprocher l'industrie française avec ces armateurs car l'offre française se renforce sur ces thématiques.

Pour les grands navires de service, les thématiques prioritaires identifiées dans les scénarios d'évolution de la flotte en lien avec les technologies de l'industrie navale sont notamment les infrastructures électriques et branchement à quai, la propulsion hybride, la compatibilité avec les nouveaux carburants, déploiement de kite pour une propulsion auxiliaire et le routage météo

8. Transition de vecteurs énergétiques : les bio-carburants et e-carburants

La transition vers des carburants moins carbonés - ou même décarbonés - constitue l'une des pierres angulaires de la décarbonation du secteur maritime. Si le **GNL**, solution déjà mature, est considéré comme un carburant fossile de transition, les **biocarburants** devraient rapidement occuper une place bien plus importante dans le paysage des carburants maritimes, avant de laisser place aux **e-carburants**, aujourd'hui encore peu matures, en quantité quasi nulle.

Ces carburants alternatifs maritimes **nécessitent une transformation de la chaîne de valeur**, mais peuvent représenter aussi une véritable **opportunité** pour le secteur énergétique français.

8.1. Les biocarburants pour le secteur maritime

Les biocarburants, qu'ils soient liquides ou gazeux, représentent une solution pour amorcer et contribuer à la décarbonation du transport maritime. Faciles à utiliser, ils peuvent généralement être intégrés sans modifications majeures aux infrastructures et motorisations existantes et sont déjà disponibles à grande échelle. Les biocarburants permettent de réduire les émissions de gaz à effet de serre, dans des proportions variables selon le type de biocarburant, mais également, et sous certaines conditions, de soutenir l'économie locale via la production agricole et la transformation des déchets.

8.1.1. *Types de biocarburants adaptés au secteur maritime*

Deux grandes catégories de biocarburants peuvent être utilisés dans le secteur maritime : les biocarburants liquides et les biocarburants gazeux. Ils sont généralement incorporés dans les carburants d'origine fossile.

Biocarburants liquides

Les **EMAG** (esters méthyliques d'acides gras), communément appelés biodiesel, peuvent être produits à partir de plusieurs intrants. Les EMAG dit de 1^e génération sont issus des filières végétales comme le colza, le tournesol ou le soja puis transformés par une technique de transestérification. Les EMAG biocarburants « avancés » sont issus de la valorisation de matières premières destinées à la destruction : le traitement des graisses animales ou des huiles usagées. Leur potentiel de réduction d'émission de GES peut, en analyse cycle de vie, aller de 50 à 60 %¹⁸ pour ceux de 1^e génération à plus de 80% pour les EMAG « avancés ».

L'HVO (huile végétale hydrotraitée) peut être fabriqué à partir d'huiles végétales, résiduelles ou de déchets, mais via un procédé différent, celui de l'hydrogénation. Ce procédé consiste à traiter les huiles sous haute pression en présence d'hydrogène, ce qui permet d'éliminer l'oxygène et de produire un carburant de très haute qualité, similaire au diesel ou kérosène fossile, mais avec des avantages environnementaux. Contrairement aux EMAG, l'HVO ne contient pas ou très peu d'oxygène, ce qui améliore sa stabilité et ses performances dans les moteurs. En matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'HVO peut atteindre jusqu'à 80 % de réduction des émissions de CO₂ par rapport aux carburants fossiles, selon l'origine des matières premières et l'efficacité du processus de production.

¹⁸ Analyses de Cycle de Vie appliquées aux biocarburants de première génération consommés en France, ADEME (2010)

D'autres types de biocarburants, dits de 2e génération, sont en cours de développement (encore au stade de la R&D industrielle). Produits à partir de matières premières non alimentaires, comme les résidus agricoles (paille, coques, bois) ou des déchets organiques, à travers des procédés comme la « Biomass to liquid » (BtL), ils n'entrent pas en concurrence directe avec les cultures alimentaires et pourraient, à terme, devenir une solution intéressante pour la décarbonation du transport maritime.

Biocarburants gazeux

Le biométhane constitue une autre alternative pour décarboner le transport maritime. Chimiquement équivalent au gaz naturel liquéfié (GNL), il est interchangeable avec celui-ci et peut être intégré aux infrastructures existantes sans nécessiter de modifications des cuves ou des moteurs des navires fonctionnant déjà au GNL. À ce jour, il s'agit du seul biocarburant permettant de décarboner la flotte croissante de navires propulsés au GNL. Le biométhane est aujourd'hui essentiellement produit à partir de la méthanisation. Il s'agit d'un processus biologique de décomposition de matières organiques (déchets agricoles, résidus alimentaires, effluents d'élevage, boues de stations d'épuration) en absence d'oxygène, produisant un biogaz riche en méthane. Une fois épuré, ce biogaz peut être injecté dans le réseau de gaz naturel en tant que biométhane.

En termes d'intensité carbone, les études récentes de GRDF¹⁹ indiquent que le biométhane injecté en France présente une empreinte carbone moyenne de 23,4 g CO₂e/kWh en analyse de cycle de vie (ACV), comparée aux 227 g CO₂e/kWh pour le gaz naturel fossile. Cette intensité carbone varie selon les intrants et les procédés utilisés. Associé à une technologie de captage de CO₂, la méthanisation permet potentiellement d'atteindre des émissions négatives. La méthanisation génère par ailleurs des sous-produits appelés digestats qui peuvent être appliqués aux sols pour les enrichir en matière organique et en nutriments.

De nouvelles technologies comme la pyrogazéification et la gazéification hydrothermale offrent par ailleurs des perspectives pour diversifier les sources de biométhane. La pyrogazéification permettrait de valoriser des matières sèches, telles que les résidus forestiers, tandis que la gazéification hydrothermale pourrait transformer des déchets spécifiques, comme les combustibles solides de récupération (CSR), en biogaz.

8.1.2. Potentiel de production de biocarburants

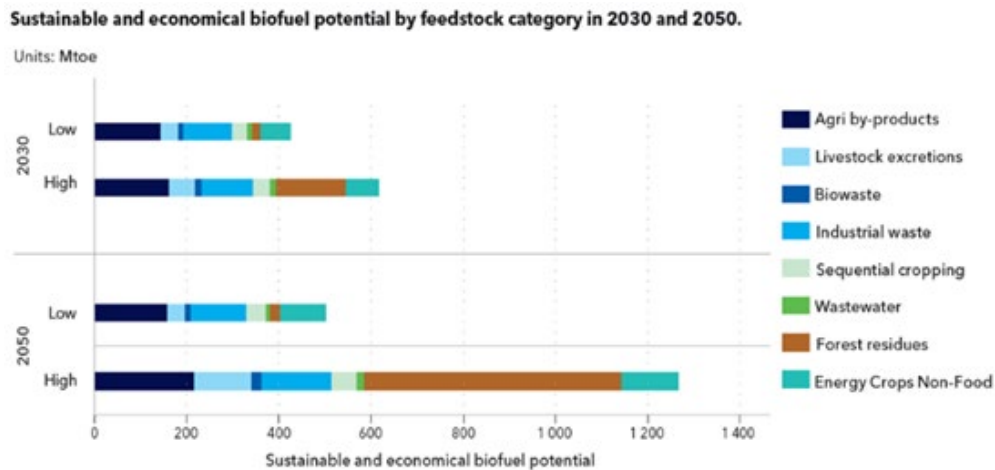
Dans le monde et en Europe

La production de biocarburants, quelle que soit leur nature, repose sur des ressources provenant de la biomasse, qui sont par définition limitées. De nombreuses études ont tenté d'estimer le potentiel de production des biocarburants à l'échelle mondiale, avec des résultats souvent divergents. Selon l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) dans son rapport Net Zero by 2050, la production de biocarburants liquides pourrait être multipliée par quatre, tandis que celle de biogaz pourrait être multipliée par six entre 2020 et 2050. Ces projections reposent sur l'essor de chaînes d'approvisionnement durables en biomasse.

Ces estimations sont néanmoins jugées optimistes et ne prennent pas pleinement en compte certaines contraintes, notamment celles imposées par la réglementation européenne comme la directive RED (Renewable Energy Directive). Cette dernière restreint en effet l'utilisation de la biomasse aux seuls biocarburants capables de réduire significativement les émissions de gaz à effet de serre par rapport aux combustibles fossiles (voir chapitre 4). Dans son livre blanc « Biofuels in Shipping » de 2023, le DNV évalue le potentiel mondial de biomasse entre 400 et 600 Mtep en 2030 et 500 à 1300 Mtep en 2050 (tous secteurs confondus). Ces chiffres tiennent compte des contraintes réglementaires, de la disponibilité des ressources (agricoles et

¹⁹ Résumé court de l'étude émissions de GES liées au développement du biométhane injecté

déchets), des rendements des différentes technologies de production, ainsi que de la viabilité économique en excluant les fractions rentables sur d'autres marchés.



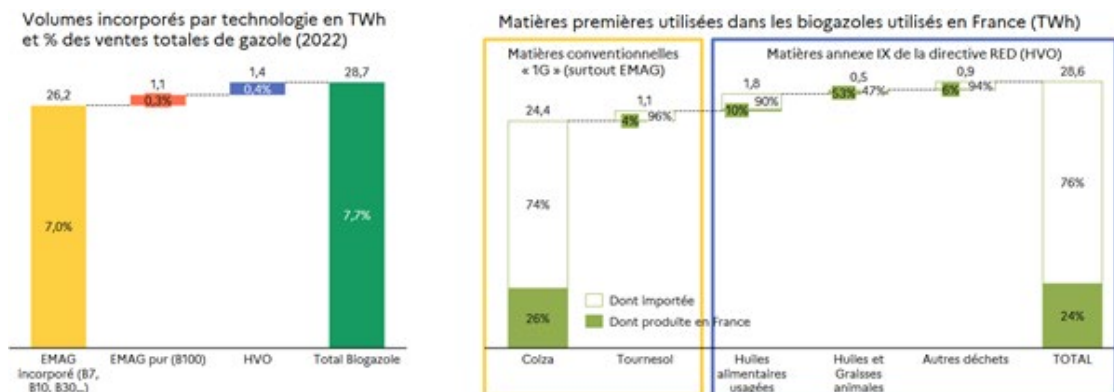
Biofuels in Shipping, DNV (2023)

Il convient de rappeler que l'allocation de la biomasse dépend des catégories et des secteurs, avec des taux de conversion variables (ratio entre le volume d'intrants utilisés et le carburant produit) selon la nature des intrants (sèche ou humide) et l'ajout d'hydrogène dans le processus de production. Comme décrit dans le chapitre 1, les diverses catégories de biomasse sont plus ou moins adaptées aux différents processus de production.

A l'échelle européenne, la Commission européenne estime²⁰ que la biomasse disponible pour la production de biocarburants pourrait atteindre entre 150 et 200 Mtep d'ici 2030 et entre 160 et 350 Mtep d'ici 2050.

En France

En France, la production de biocarburants a été stimulée par la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE), atteignant environ 3,5 millions de tonnes de biocarburants liquides en 2023, principalement pour le secteur routier et, dans une moindre mesure, aérien. La PPE, dont la 3e édition est en cours d'élaboration, pourrait revoir ces objectifs à la hausse. En 2022, les biogazoles incorporés en France – essentiellement des EMAG pour du transport routier – représentaient 7,7% des volumes de gazole, soit autour de 30 TWh. Les matières utilisées sont encore pour l'essentiel de catégorie issues de cultures dédiées (colza) et issues de l'importation.



Figure

bouclage biomasse : enjeux et orientations, SGPE (juillet 2024)

²⁰ European Commissions Impact Assessment for the 2030 Climate Target Plan (EC, 2020)

Pour le biométhane, la France vise des objectifs ambitieux, avec une production actuelle dépassant les 12 TWh/an, à comparer aux 44 TWh visés d'ici 2030. Actuellement, 674 installations injectent du biométhane dans les réseaux de gaz naturel à partir d'intrants dont 80 % sont d'origine agricole et 20 % issus des installations de stockage de déchets non dangereux (ISDND). La filière gazière anticipe un potentiel de production plus important avec 57 TWh de biométhane d'ici 2030, et 275 TWh en 2050.

	Potentiel	Trajectoire de production réalisable		
		2030	2040	2050
Methanisation	190 TWh	49 TWh	100 TWh	135 TWh
Pyrogazéification	180 TWh	6 TWh	30 TWh	90 TWh
Gazéification Hydrothermale	100 TWh	2 TWh	25 TWh	50 TWh
Total	>> 430 TWh	57 TWh	155 TWh	275 TWh

France Gaz « La vision de l'industrie gazière sur le chemin vers 2050 » (2022)

8.1.3. Utilisation des biocarburants dans le transport maritime aujourd'hui

L'utilisation des biocarburants dans le secteur des transports s'est historiquement limitée au transport routier et, dans une moindre mesure, au transport aérien, du fait des incitations réglementaires. Récemment cependant, leur utilisation dans le secteur maritime s'est accélérée. A titre d'illustration, en 2023, les carburants mélangés avec du biodiesel représentaient plus de 7 % des ventes totales de soutes du port de Rotterdam²¹ et environ 1 % au port de Singapour²², totalisant environ 0,4 Mtep de diesel pur d'origine biologique, en hausse par rapport à environ 0,3 Mtep en 2022.

En France, les ports ne proposent pas aujourd'hui de solution de soutage de combustibles marins contenant des biocarburants liquides, faute de demande. Néanmoins plusieurs opérations ponctuelles ont pu être menées, à l'image du navire Ciudad de Cadiz armé par LDA ayant fait l'objet de plusieurs soutages de HVO par camion dans le port de Nantes-Saint Nazaire.

A court terme pourtant, l'incorporation d'EMAG (majoritairement) et d'HVO apparaît comme une solution pertinente pour les armateurs afin de décarboner leur flotte et se conformer aux exigences réglementaires. Ces biocarburants liquides, dits "drop-in", constituent en effet de très bonnes bases carburants pour les moteurs marins et présentent peu de contraintes techniques et opérationnels. Les essais réalisés par plusieurs armateurs ont en effet confirmé la bonne adaptation des moteurs marins à ces carburants, avec des résultats souvent satisfaisants en matière de réduction de gaz à effet de serre mais aussi en émissions de polluants (oxydes de soufre et oxydes d'azote).

Pour autant, les volumes de ces carburants resteront limités même si une redistribution pourrait s'opérer en Europe avec la fin annoncée de la vente de voitures thermiques neuves, au profit d'autres secteurs dont le maritime. La limitation de la ressource en huiles végétales disponible ainsi qu'une réglementation volontairement restrictive sur les biocarburants de 1e génération en sont les principales raisons. Une ouverture pourrait néanmoins s'opérer vers les

²¹ <https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/2024-04/bunkersales-2021-2024.pdf>

²² https://www.mpa.gov.sg/docs/mpalibraries/mpa-documents-files/stratpol/port-statistics/bunker-sales3e276db0565c4f94bdd764da59396395.xls?sfvrsn=c7b22b1_0

diesels, bioalcools (méthanol et éthanol) ou fuels résiduels issus de procédé de 2e génération. Outre l'élargissement de la ressource exploitée, ces procédés permettraient de répondre aux taux de décarbonation imposés par la réglementation à 2040 ou 2050.

Concernant le biométhane, son usage dans le maritime s'inscrit dans le contexte du développement rapide de la flotte mondiale de navires au GNL. Il convient de rappeler que le GNL est aujourd'hui de très loin le premier carburant alternatif aux carburants liquides traditionnels.

Dans la majorité des cas, le biométhane à destination du maritime sera issu de biométhane injecté sur le réseau gazier, mis à disposition sous forme de bioGNL dans les terminaux GNL européen, grâce à aux schémas de certification idoines (règlement d'exécution de la directive RED). Il peut être distribué grâce à des navires souteurs, ou pour des ferries, grâce à des camions citernes.

De nombreuses incertitudes réglementaires pèsent sur l'utilisation du système de garanties d'origine (GO) biogaz et notamment la comptabilisation de ces carburants au titre des obligations de décarbonation, sans soutage physique des molécules. Seuls les projets français non subventionnés par l'État seraient éligibles. Il convient de garder à l'esprit que l'objectif recherché par le régulateur est de parvenir à un soutage physique des molécules.

Le recours au bioGNL par les armateurs commence tout juste mais des entreprises s'engagent activement à intégrer ce levier. CMA CGM vient ainsi de signer un accord avec SUEZ pour produire jusqu'à 100 000 tonnes de biométhane par an d'ici 2030²³.

8.1.4. Des projets qui illustrent le dynamisme de la filière biocarburants en France

Les projets de production de biocarburants en France, pourraient présenter un potentiel intéressant pour le transport maritime. Des initiatives comme Salamandre ou d'autres unités de production de biocarburants avancés pourraient, à terme, fournir des solutions adaptées pour les carburants marins. Avec l'évolution des besoins du secteur maritime vers des carburants plus durables, ces infrastructures pourraient progressivement être réorientées ou élargies afin de répondre aux spécificités de la demande maritime en biocarburants

Projet Salamandre

Le projet Salamandre, initié en 2021, se distingue par son ambition de produire du biométhane par pyrogazéification dans la région du Havre pour un usage exclusivement maritime. Cette initiative, portée par ENGIE et CMA CGM, prévoit l'installation d'une unité de production de gaz renouvelable de synthèse alimentée par des déchets de bois et des combustibles solides de récupération (CSR). Fruit de plus de 10 années de R&D sur la pyrogazéification et la méthanation, Salamandre aura la capacité de fournir 11 000 tonnes de biométhane par an d'ici 2027 soit 177 GWh/an. CMA CGM sera acquéreur du bioGNL, 80% moins émetteur que son équivalent fossile.

Conversion des raffineries comme La Mède (TotalEnergies)

La raffinerie de La Mède, située près de Marseille, est l'un des plus grands sites français de production de biocarburants, exploité par TotalEnergies. Cette ancienne raffinerie de pétrole fossile a été convertie en bioraffinerie en 2019, avec une capacité de production de 300 000 tonnes de biodiesel HVO par an. La Mède utilise des matières premières diversifiées, incluant des huiles végétales (comme l'huile de colza ou de tournesol), des huiles usagées et des graisses

²³ cmacgm-group.com/fr/actualites-media/le-groupe-cma-cgm-et-suez-signent-un-protocole-daccord

animales. Sa production actuelle est principalement orientée vers le secteur routier, mais l'orientation future vers le secteur maritime n'est pas à exclure, compte tenu de l'électrification progressive des véhicules routiers et de la proximité du port de Fos-sur-Mer.

La Mède n'est pas le seul site concerné puisque la plateforme de Grandpuits se transforme pour fournir des biocarburants, cette fois dédiés principalement à l'aviation.

Site BioTfuel à Dunkerque

Le site BioTfuel, un projet pionnier à Dunkerque, se spécialise dans la production de biocarburants avancés de 2e génération en exploitant des matières lignocellulosiques (déchets et résidus agricoles et sylvicoles). Ce projet pilote, porté par divers partenaires dont IFPEN, Axens, CEA, TotalEnergies, ThyssenKrupp Uhde, a démontré avec succès la technologie BtL à l'échelle préindustrielle. Bien que la technologie soit encore en phase d'industrialisation, le projet BioTfuel présente un grand potentiel pour fournir du biocarburant à faible empreinte carbone aux secteurs aériens et maritimes. Le procédé fait d'ailleurs l'objet d'un projet industriel, intitulé BioTJet, porté par Elyse Energy, visant à construire et opérer une unité commerciale française de e-biocarburant à destination du secteur aéronautique.

8.1.5. Perspectives pour le déploiement des biocarburants maritimes en France

Le développement des biocarburants pour le maritime doit être pensée dans un contexte de compétition d'usages. En effet, la demande en biomasse est croissante dans de nombreux secteurs, notamment pour l'aviation, l'industrie, le résidentiel mais aussi pour la production d'électricité. Pour le maritime, les infrastructures et motorisations existantes permettent d'intégrer les biocarburants liquides et gazeux de manière directe et efficace, offrant ainsi un potentiel de réduction immédiate des émissions de gaz à effet de serre. Cependant, pour que le maritime bénéficie pleinement de cette opportunité, une stratégie de priorisation de volumes de biocarburants vers ce secteur sera nécessaire. Cela pourrait impliquer un fléchage des ressources vers les industries les plus difficiles à décarboner et une réglementation favorable. Les travaux du SGPE autour du bouclage biomasse vont dans ce sens en identifiant une liste de secteurs prioritaires pour disposer de ressources en biomasse.

La priorisation du transport maritime pour l'accès aux biocarburants doit également s'accompagner d'une mobilisation des parties prenantes pour créer et développer des capacités de production adaptées aux spécificités de ce secteur.

Les ports, les armateurs et les énergéticiens ont ensemble un rôle clé à jouer pour construire des modèles de production de biocarburants, basés sur des chaînes d'approvisionnement locales. Ces initiatives ne pourront se faire sans une action proactive de l'État et des collectivités territoriales afin créer les conditions économiques et réglementaires favorables au déploiement de tels projets sur le territoire national.

La transition vers des biocarburants avancés dans le maritime pourrait également renforcer les économies locales et la compétitivité de certains ports français. Face aux autres hubs européens, cette différenciation par une offre de soutage en biocarburants durable serait de nature à attirer les armateurs soucieux de réduire leur empreinte carbone, tout en anticipant les exigences environnementales internationales croissantes. Le renforcement de ces capacités de production permettrait de s'affranchir en partie des fluctuations du marché fossile et de s'assurer une plus grande résilience énergétique.

8.2. Les carburants de synthèse et le secteur maritime

Les carburants de synthèse, ou e-fuels, sont des carburants produits par des procédés chimiques à partir d'hydrogène décarboné et de CO₂ capté, ou d'azote pour l'ammoniac, qui

offrent des perspectives de déploiement à moyen et long terme. Sous forme liquide ou à l'état gazeux, leur émergence aux côtés des biocarburants issus de la biomasse, offre une solution alternative pertinente pour réduire la dépendance du transport maritime aux énergies fossiles et permettre la décarbonation du secteur en 2050.

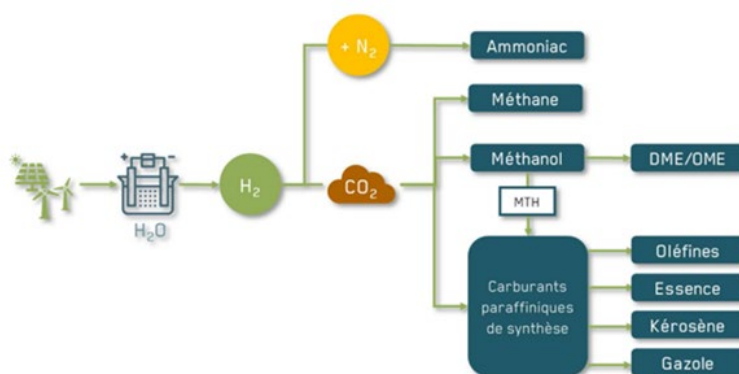
Moins matures que les biocarburants, les e-fuels constituent une brique parmi d'autres solutions nécessaires pour atteindre les objectifs de décarbonation du secteur maritime.

8.2.1. Types de carburants de synthèse adaptés au secteur maritime²⁴

À pression atmosphérique, l'hydrogène est gazeux et possède une forte densité énergétique par masse, mais une faible densité énergétique par volume. Pour pouvoir être stocké dans des réservoirs de taille raisonnable, il doit être comprimé à très haute pression (entre 300 et 700 bars) ou liquéfié à -252 °C. Ces deux méthodes nécessitent une consommation énergétique importante et posent des défis techniques pour les équipements embarqués.

Sa transformation en e-fuels, par réaction avec du CO₂ ou de l'azote, constitue une voie indirecte pour électrifier les navires. Carburants, gazeux ou liquides dans des conditions ambiantes, les e-fuels sont généralement plus faciles à transporter, stocker et utiliser que l'hydrogène pur. Ils représentent une solution intéressante pour le transport aérien et maritime, où l'hydrogène pur est difficilement utilisable sur de longues distances.

Plusieurs types d'e-fuels se distinguent pour le secteur maritime, chacun avec des caractéristiques spécifiques adaptées aux différents besoins des navires. Les principaux e-fuels à l'étude pour le secteur maritime sont le e-méthanol, le e-ammoniac, le e-méthane.



Principales voies de synthèse des e-fuels (IFPEN)

Dans une approche en cycle de vie du puits au sillage (*well-to-wake*), le potentiel de réduction d'émission de gaz à effet de serre des carburants de synthèse dépend entre autres du caractère décarboné des intrants utilisés, en premier lieu l'électricité.

Carburants de synthèse liquides

Le e-méthanol, dont la production est déjà industrialisée dans de faibles proportions, notamment pour l'industrie chimique, est un carburant prometteur pour le monde maritime. Il est connu des industriels, relativement dense en énergie et liquide à température ambiante. Facilement incorporable dans l'essence pour les motorisations automobiles existantes, et utilisé dans les moteurs « dual fuel » pour le maritime, le e-méthanol permet également un déploiement rapide. Le méthanol présente toutefois un certain niveau de toxicité qui nécessite des précautions particulières lors de son utilisation comme carburant.

Les E-carburants paraffiniques : Ces carburants produits dans un processus Fischer-Tropsch peuvent être utilisés avec leurs propriétés proches de leurs équivalents fossiles.

²⁴ <https://www.evolen.org/wp-content/uploads/2023/03/15-03-2023-EVOLEN-Note-de-synthese-sur-les-e-fuels.pdf>

Carburants de synthèse gazeux

Sous sa forme liquide à environ -163°C, le **e-méthane** présente l'avantage majeur de pouvoir être incorporé au GNL (gaz naturel liquéfié) et ainsi de bénéficier des infrastructures existantes et des réglementations en vigueur.

Le e-ammoniac est un carburant étudié avec attention par le transport maritime car c'est un carburant de synthèse économique et simple à produire, via le procédé Haber-Bosch ; c'est également le seul qui ne soit pas carboné. Cependant sa forte toxicité et les dangers qu'il représente pour l'environnement restent un obstacle à son déploiement massif comme carburant, en particulier dans des endroits confinés comme les navires. Le e-ammoniac vise également à décarboner la production de produits chimiques dont les engrais azotés. C'est aussi une solution envisagée pour transporter l'hydrogène sur de longues distances (craquage de l'ammoniac).

8.2.2. Potentiel de production des carburants de synthèse

La production des carburants de synthèse est aujourd'hui quasi nulle dans le monde. En effet, la disponibilité en hydrogène renouvelable et bas carbone, pourtant indispensables à la production des e-fuels, est extrêmement limitée à ce jour.

Par ailleurs, si les technologies de production sont dans l'ensemble maîtrisées par les industriels, le coût de revient des e-fuels, estimé aujourd'hui jusqu'à 8 fois plus élevé que celui de leurs équivalents fossiles, est un facteur limitant de leur développement à grande échelle. L'évolution du cadre réglementaire, visant la neutralité carbone en 2050, devrait néanmoins faciliter leur déploiement progressif.

Dans le monde

L'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) estime²⁵ qu'en raison des exigences de décarbonation, la production mondiale de carburants de synthèse pour les transports pourrait atteindre, en 2050, 56 Mt de E-fuels (hors ammoniac) et 44 Mt d'ammoniac, avec une part significative dédiée aux secteurs difficiles à décarboner, comme le transport maritime. Ces chiffres sont des estimations basées sur des scénarios impliquant un développement massif de l'électricité renouvelable.

Une étude, rédigée par la société MGH pour le compte du CMF, propose une estimation du potentiel mondial de production de carburants de synthèse tenant compte des paramètres géographiques. L'étude révèle que, dans les zones géographiques les plus compétitives — c'est-à-dire celles bénéficiant de conditions de vent et d'ensoleillement favorables, le potentiel de production d'e-fuels est élevé (estimation du potentiel minimum correspondant aux zones les plus compétitives), dépassant même les besoins des secteurs maritimes et aériens. L'analyse montre le rôle prépondérant de l'Afrique, l'importance relative de l'Australie et, dans une moindre mesure, de l'Amérique. En revanche, l'Europe, qui concentre une partie significative de la demande, ne disposerait pas des conditions climatiques optimales pour permettre un déploiement massif des énergies renouvelables et, par conséquent, la production d'e-fuels à grande échelle. Cette répartition pourrait redessiner les échanges de carburants à l'échelle mondiale, en instaurant un nouveau modèle d'échanges entre pays producteurs et importateurs. Certains ports pourraient ainsi se spécialiser et devenir des hubs stratégiques pour l'approvisionnement.

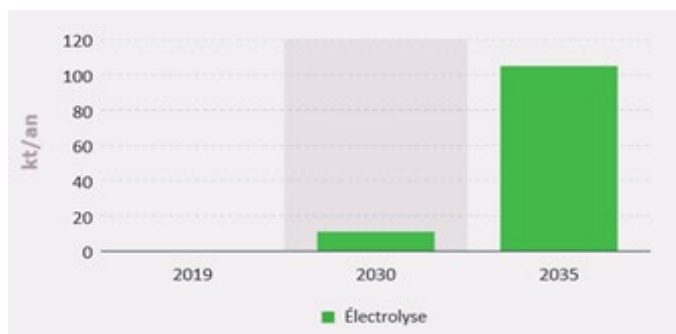
²⁵ <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

En France

La Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE) en cours de révision ne fixe pas d'objectifs de production des carburants de synthèse mais vise à soutenir le développement de l'hydrogène produit par électrolyse de l'eau. Dans les documents de planification en cours de consultation (SNBC et PPE), l'objectif retenu est de 6,5 GW de capacités en électrolyseurs d'ici 2030 et 8 GW.

La France est également tenue par les objectifs du cadre européen, en particulier, l'intégration de 1,2 % de carburants renouvelables d'origine non biologique délivrés dans les ports et de 1 % dans les soutes d'ici 2030.

Concernant les besoins en électricité, RTE anticipe des besoins²⁶ en électricité autour de 10 kt/an à l'horizon 2030 et 100 kt/an à l'horizon 2035.



Approvisionnement en hydrogène pour les besoins de carburants durables pour le transport maritime (RTE, juillet 2024)

8.2.3. Utilisation des carburants de synthèse dans le transport maritime

Même s'ils ne sont pas encore disponibles, les carburants de synthèse sont regardés de près par les armateurs, les chantiers navals et équipementiers, ainsi que les ports.

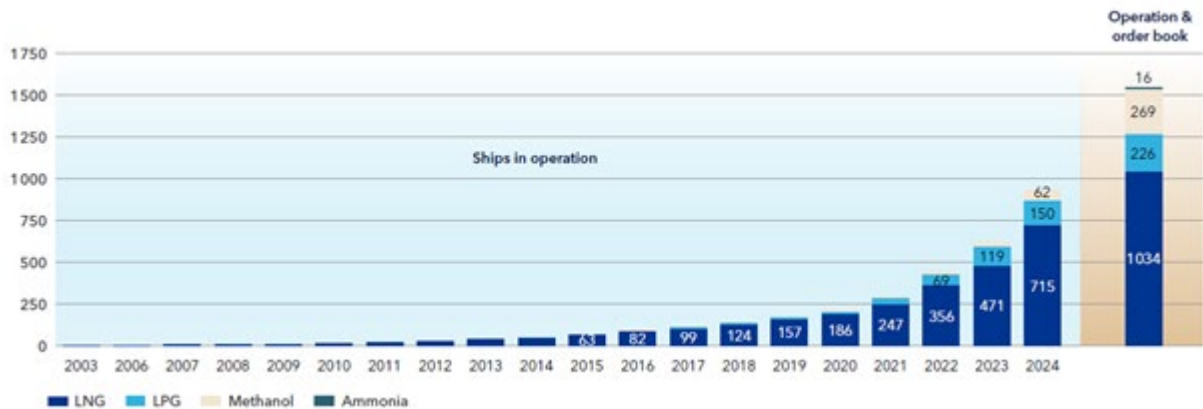
Le **GNL**, déjà déployé dans le secteur maritime, notamment sur certains segments de flotte (méthaniers, porte-conteneurs, ferrys, croisière), dispose déjà des infrastructures et équipements marins – moteurs, stockage, etc. – adaptés pour ce carburant même si des progrès peuvent être faits, notamment pour limiter les fuites de méthane. Le passage à du GNL de synthèse, s'il venait à être déployé, ne nécessiterait pas d'adaptation spécifique par rapport au GNL conventionnel.

Le **e-méthanol** fait l'objet d'intérêt marqué de la part de plusieurs armateurs dans le monde qui communiquent sur leurs investissements dans des navires « methanol ready ». Il s'agit généralement de navires, conçus dans l'optique de fonctionner au méthanol le jour où celui-ci sera disponible et compétitif, mais capables également de fonctionner au fioul conventionnel. Des projets de rétrofit de navires existants au méthanol sont aussi en cours et des premiers navires dual fuel méthanol sont en opération. En termes d'infrastructures de soutage, la majorité des ports n'ont pas encore les infrastructures adaptées, bien que quelques pionniers initient des projets. Le développement des infrastructures dépendra principalement de l'évolution de la demande et de la clarification des règles internationales sur la sécurité et le soutage de ce combustible.

L'ammoniac, sous sa forme liquéfiée à -33°C, suscite un intérêt croissant dans le maritime mais pose de grands défis techniques. Le principal réside dans la conception de navires, équipements et infrastructures de soutage capables de fonctionner à l'ammoniac en toute sécurité. Ce combustible, très toxique et corrosif, nécessite des protocoles de manipulation stricte. Le post traitement des émissions de NOx (polluant) et de N2O (puissant gaz à effet de serre) générées par sa combustion est également un enjeu majeur sur lesquels des travaux de R&D sont en cours. Il faut ajouter à cela la moindre densité énergétique de l'ammoniac nécessitant des soutes 3 à 4 fois plus grandes par rapport au fioul pour assurer la même autonomie. En dépit d'une maturité moindre, les commandes de navires neuf à

²⁶ <https://assets.rte-france.com/prod/public/2024-07/2024-07-12-chap11-hydrogene.pdf>

motorisation ammoniac ont commencé à décoller et un premier navire japonais a fait l'objet d'un rétrofit à l'ammoniac (remorqueur Sakigake).



Croissance du nombre de navires capables d'utiliser les carburants alternatifs sélectionnés, hors transporteurs de GNL (DNV, mai 2024)

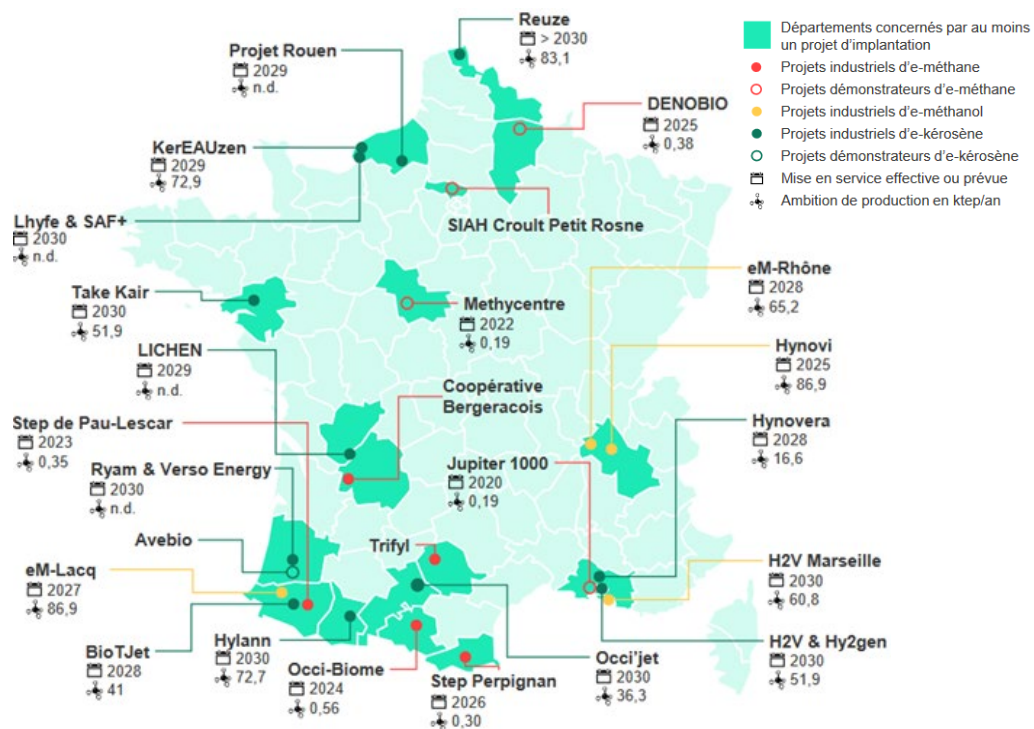
8.2.4. Projets clés en France pour les carburants de synthèse

A l'échelle de la France, à horizon 2030, la demande en e-fuels pour le secteur maritime devrait rester encore faible en 2030, les armateurs préférant s'orienter vers des technologies plus matures et moins coûteuses. Elle pourrait, du fait des exigences réglementaires, s'accroître à plus de 9 TWh (774 kTep) en 2040. La structuration, dès 2030, d'une filière française de production d'e-fuels devrait permettre d'anticiper cette évolution de la demande.

La France bénéficie d'un vaste réseau d'acteurs dynamiques engagés dans le développement de carburants de synthèse. Le Bureau Français des E-fuels, qui représente l'ensemble de ces acteurs, publie chaque année un observatoire offrant une vue complète des projets en cours. L'édition 2024²⁷ de cet observatoire, publiée en juillet, fait état de 26 projets identifiés (tous stades d'avancement confondus) répartis sur 17 départements métropolitains, visant la production de diverses molécules : e-méthane, e-méthanol, e-kérosène ainsi que des co-produits.

Plus d'un quart des projets, sont localisés au sein de l'axe Seine ou à proximité de Fos-sur-Mer. Ces implantations, proches de zones industrielles majeures offrent le double avantage pour les porteurs de projets de se rapprocher des gisements de CO₂ facilement captables et des consommateurs finaux d'e-fuels. Ces implantations ouvrent la voie à un acheminement d'e-fuels vers le Havre ou encore Fos-sur-Mer.

²⁷ https://www.bureau-efuels.com/wp-content/uploads/2024/10/Observatoire-francais-des-e-fuels_edition-2024_Fr.pdf



Cartographie des projets annoncés dans le périmètre de l'étude ou rapportés à celui-ci d'après les données publiques communiquées par les porteurs des projets ou relayées dans la presse (Sia Partners, juin 2024)

Les projets de production d'e-fuels en France, s'ils se réalisaient dans les conditions prévues, seraient suffisants pour répondre aux besoins français entre 2030 et 2035. A noter qu'aucun projet d'e-ammoniac à destination du secteur maritime n'a pour l'heure été recensé. Cela s'explique par la moindre maturité des technologies ammoniac pour le maritime.

L'observatoire français des e-fuels précise également que ces projets mobiliseraient 24 TWh d'électricité bas carbone, soit 3.4% des capacités de production prévues par la SNBC (correspondant à environ 3GW, l'équivalent de la puissance de 2 réacteurs nucléaires de type EPR), ainsi que 2.6 millions de tonnes de CO₂ biogénique ou fossile à capter et à valoriser, soit 2,2% du volume actuel produit par des principaux sites industriels émetteurs (sites avec des émissions supérieures à 30 ktCO₂/an).

A défaut du développement de filières nationales de production d'e-fuels, la France devra importer des e-fuels ou les navires devront souter hors de France pour respecter leurs obligations réglementaires et répondre aux besoins du secteur maritime.

8.2.5. Défis pour le déploiement des carburants de synthèse dans le maritime

A moyen terme, le développement des carburants de synthèse en France offre une opportunité pour assurer la décarbonation du secteur maritime tout en renforçant la souveraineté énergétique nationale. La mise en œuvre à grande échelle des projets est cependant confrontée à plusieurs défis majeurs qui nécessitent des choix stratégiques et des investissements massifs.

La production de carburants de synthèse repose sur la disponibilité massive d'une électricité compétitive et décarbonée, nécessaire pour produire l'hydrogène par électrolyse de l'eau. La France jouit d'une situation favorable grâce à son parc nucléaire et hydraulique permettant la production d'une électricité bas carbone en base, mais elle devra augmenter significativement sa capacité de production d'électricité renouvelable pour répondre aux différents besoins. En effet, l'électrification des usages dans plusieurs secteurs de l'économie française pourrait

renforcer la problématique de l'accès des projets à de l'électricité bas carbone à coûts modérés. L'Etat aura un rôle essentiel à jouer dans la première phase de développement de la filière pour s'assurer qu'une partie de la production d'électricité bas carbone puisse être allouée aux projets, à des tarifs compétitifs. La planification des investissements en matière d'infrastructures électriques et de gestion du réseau devra aussi tenir compte des besoins pour la production des e-fuels.

A l'exception d'éventuels projets de production d'ammoniac qui pourraient arriver sur le territoire, les projets de e-fuels « carbonés » nécessitent un approvisionnement stable en CO₂. Ces besoins peuvent être satisfaits par le captage du CO₂ d'origine biogénique, fossile et, potentiellement à plus long terme, atmosphérique. En l'état actuel de la législation européenne, le CO₂ fossile industriel valorisé pour la production d'e-fuels de type RFNBO sera comptabilisé comme une émission évitée jusqu'en 2040. Après 2040, des contraintes d'approvisionnement en CO₂ biogénique pourraient apparaître et doivent donc être anticipées dès la conception des premiers projets, au vu de leur durée de vie prévisionnelle (>20 / 25 ans).

Le développement de la filière implique également la mobilisation de fonds considérables. Dès aujourd'hui, des financements sont requis pour les études techniques et d'ingénierie des projets, et dans les années à venir pour la construction et l'aménagement de sites industriels. À ce jour, 8,1 milliards d'euros d'investissements ont été annoncés d'ici 2030 pour 15 des 26 projets cartographiés, totalisant une capacité de production de 552 ktep soit environ 76 % de la capacité des projets de la figure 3 (maritime et aérien confondus). Ces investissements bénéficieront largement aux territoires d'implantation, renforçant ainsi les retombées économiques locales.

Pour assurer la viabilité économique de cette nouvelle filière, les engagements des acheteurs finaux, en particulier les armateurs, seront clés. Ces engagements garantiront des débouchés pour la production de carburants de synthèse, renforçant ainsi la stabilité économique des projets. Les armateurs ont un rôle central à jouer en donnant leur soutien à long terme pour la consommation d'e-fuels, ce qui peut encourager les investisseurs et sécuriser le financement des infrastructures nécessaires. Des partenariats de long terme entre producteurs d'e-fuels et consommateurs finaux seraient également un signal fort pour stimuler le développement de la filière en France.

Enfin, le développement des carburants de synthèse implique aussi, selon le type de carburant, des adaptations plus ou moins profondes des infrastructures portuaires françaises. Les ports, en tant que points de ravitaillement et de transit majeurs pour le transport maritime, pourront s'équiper pour accueillir, stocker et distribuer ces nouveaux types de carburants. Cela nécessitera des investissements pour transformer les installations existantes ou en construire de nouvelles pour la production et le stockage et l'approvisionnement des navires.

Enfin, il convient de préciser que l'offre d'e-fuels provenant de pays bénéficiant de conditions favorables de production, comme certaines régions d'Afrique ou d'Australie, avec des coûts potentiellement plus compétitifs, pourrait venir en complément des projets français ou européens, permettant de répondre à la forte demande en carburants décarbonés dans le secteur maritime. En effet, les quantités nécessaires pour décarboner le transport maritime sont considérables, et la production domestique seule ne suffira probablement pas à combler l'ensemble de ces besoins.

9. Scénarios de décarbonation du secteur maritime national

La décarbonation du secteur maritime ne pourra se faire qu'à travers une combinaison des différents leviers. La comparaison de différents scénarios de décarbonation qui prennent en compte une application différente de cette combinaison de leviers permet d'apporter des éléments quantitatifs sur les solutions à mettre en place et à prioriser les actions.

9.1. Modèle de transition énergétique et données associées

Un outil de modélisation a été développé par la filière maritime dans le cadre du projet MEET2050²⁸. L'outil permet de représenter de façon globale une flotte donnée (définie par un nombre de navires, une pyramide des âges, une consommation globale). En décrivant les évolutions de cette flotte (navires nouvellement construits ou rétrofités, nouvelles technologies et énergies disponibles, optimisations opérationnelles, etc.) et en tenant compte des gains obtenus grâce à ces évolutions, en termes de réduction de la consommation et des émissions, le modèle permet :

- D'élaborer les trajectoires de décarbonation pour cette flotte (émissions absolues, intensité carbone de l'énergie soumise, des navires opérés) ;
- D'estimer les besoins en énergie de la flotte (ou de l'ensemble des flottes).

Le modèle peut être paramétré de façon spécifique avec des données issues de flottes internationales, nationales – ou multinationales – sous les hypothèses d'une description « moyenne ». Plus spécifiquement, la modélisation proposée dans l'outil se fonde sur :

- La quantification et caractérisation d'une population de navires en activité ;
- L'évolution d'une population de navires en activité ;
- L'évolution des consommations à bord pour la flotte concernée ;
- L'évolution des émissions associées à la consommation ;

L'évaluation du besoin en énergie primaire et des coûts de transition.

Un travail collaboratif a été réalisé par les équipes de MEET2050 et les acteurs de la chaîne de valeur pour définir les données et paramètres utilisés dans le modèle : facteurs d'émission, données techniques associées aux nouvelles énergies (volume, rendements, etc.). Il est important de noter que les données utilisées présentent une certaine dispersion selon les sources utilisées, liée notamment à l'incertitude de prévisions futures (coût de l'énergie à moyen et long terme, coût de la tonne de CO₂) ou à l'absence de référentiel partagé (facteurs d'émission de certains biocarburants par exemple).

9.2. Les scénarios précédemment étudiés

Une dizaine de scénarios avaient été élaborés dans la FdR 2023 autour d'un scénario principal (scénario S3) dans lequel les objectifs de décarbonation étaient atteints par une mise en œuvre équilibrée de l'ensemble des leviers : efficacités technologique et opérationnelle disponibles à ce jour et espérées d'ici 2050, propulsion par le vent, baisse de vitesse de 15% avec un ajout de navires pour conserver les volumes transportés, déploiement progressif des biocarburants avant intégration de e-carburants à partir de 2030. Ce scénario principal s'appuyait également sur une croissance de 3% des besoins énergétiques. Ces 3% correspondaient à 1,5% de hausse des volumes transportés, en lien avec les projections internationales, et 1,5% liés à une croissance du soutage dans les ports français dans l'optique de réduire la dépendance au soutage étranger.

9.3. Scénario de référence révisé (S3 révisé) – maritime national

Le périmètre du scénario de référence n'a pas été modifiés. Toutefois dans le cadre des échanges entre les représentants des acteurs du maritime et l'État, un consensus s'est fait sur un scénario modifié qui présente aujourd'hui les caractéristiques suivantes :

- De nombreuses hypothèses ont été faites et revues sur la réduction des besoins énergétiques par une combinaison optimiste des différents leviers techniques, opérationnels: gains en design, apport du vélique, captation de CO₂, plans de rétrofit, etc. Une baisse de la vitesse de navigation, progressive et linéaire de l'ordre

²⁸ J.F. Sigrist, E.Jacquin, « Un modèle global de transition énergétique pour évaluer des trajectoires de décarbonation du secteur maritime », Session de l'Association Technique Aéronautique et Maritime, Paris, 8 octobre 2023.

de 15% à 2050 a aussi été appliquée. Ces deux éléments permettaient un maintien de l'énergie consommée par la flotte, le doublement des besoins liés à la croissance étant compensé à part égale par ces deux types de mesures ;

- Le déploiement progressif des biocarburants avant intégration de e-carburants à partir de 2030 ;
- Initialement considérée à 3% dans le scénario S3 de la FdR 2023, la croissance des émissions du maritime a été abaissée à 1,5% jusqu'en 2035 pour prendre en compte l'augmentation de la flotte et le rapatriement souverain du soutage puis considérée nulle après 2035 ; La revue de ce paramètre a été réalisée dans un contexte de contraintes de répartition de la biomasse et de l'électricité françaises entre les différents secteurs industriels à décarbonés.

Pour ce scénario de référence « révisé » détaillé en Annexe 5, on retient donc les hypothèses de modélisation suivantes :

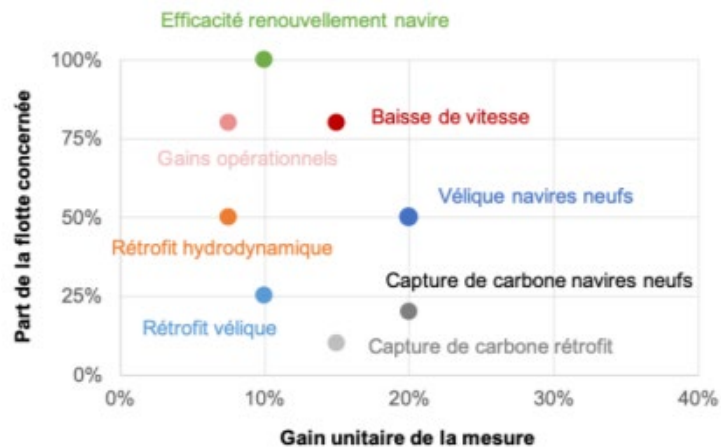
- Énergie initiale consommée : 27,7 TWh ;
- Croissance totale : 1,5% sur 15 ans, intégrant pour parts égales une croissance de de la flotte et une croissance liée au rapatriement de soutage en France, puis 0% après 15 ans ;
- Durée de vie moyenne des navires : 25 ans ;
- Date d'introduction e-carburants : 2028 ;
- Durée déploiement des e-carburants : 15 ans.

On suppose en outre que :

- 100% des navires neufs auront des gains de 10% de réduction de la consommation (abaissement progressif à 50% en 15 ans) ;
- 50% des navires neufs seront équipés d'ici 10 ans avec des dispositifs de propulsion par le vent, réduisant de 20% leur consommation ;
- 20% des navires neufs seront équipés de système de captation de CO2 permettant une réduction des émissions de 20% ;
- 80% de la flotte gagnera 7,5% de consommation par des mesures d'efficacité opérationnelle (routage, éco-conduite, etc.) ;
- Deux plans de retrofit de la flotte seront réalisés : 50% de la flotte gagnera 7,5% de consommation grâce à des améliorations de l'hydrodynamique (carènes, bulbes, etc.) et 25% de la flotte gagnera 10% supplémentaire grâce au vélique ; 10% de la flotte réduira ses émissions de 15% grâce à la captation de CO2 à bord.
- 80% de la flotte subira une baisse de vitesse, appliquée dès maintenant pour atteindre progressivement (et linéairement) 15% en 2035.
- La flotte de navires fioul ou diesel subira à horizon de 15 ans, un retrofit massif pour substituer progressivement des carburants de synthèse (typiquement du e-méthanol) à ces énergies fossiles.

Le tableau et la figure ci-dessous résument les caractéristiques principales de ce scénario de référence.

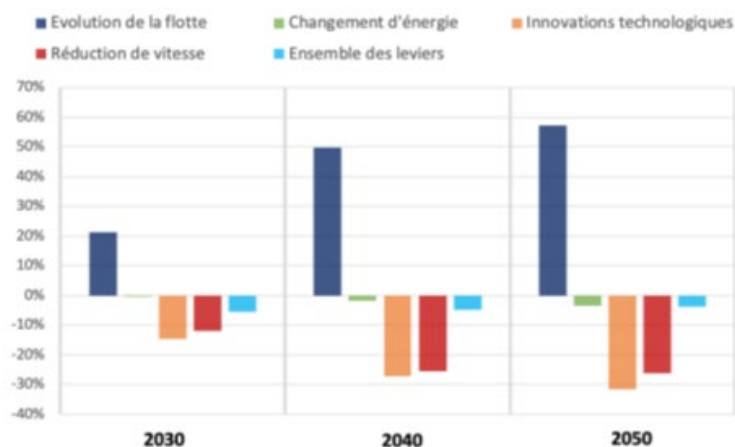
Gains en consommation d'énergie	Gain	Fraction de la flotte	Durée de déploiement	Moyenne 2023-2050
Gains en efficacité au renouvellement	10%	100%	-	6,4%
Gains assistance vélique navires neufs	20%	50%	7	7,6%
Gains opérationnels	7,5%	80%	5	5,4%
Baisse de vitesse	15%	80%	15	8,7%



Sous ces hypothèses, la quantité d'énergie consommée par la flotte diminue de 27,7 TWh en 2022 à 26,6 TWh en 2050 (soit une diminution de 4%) – comme le montre le tableau ci-dessous.

	2023	2030	2040	2050	2023-2050
Énergie consommée par la flotte (TWh)	27,7	26,2	26,4	26,6	774
Évolution de la consommation	Référence	-5%	-5%	-4%	-
Énergie fossile	26,9	22,0	7,1	0,0	393
Énergie bio-sourcée (blend uniquement)	0,9	3,1	6,2	7,2	136
Energie e-carburants	0,0	3,2	30,6	43,7	571
Énergie électrique (quai/bord)	0,0	0,1	0,6	1,2	13

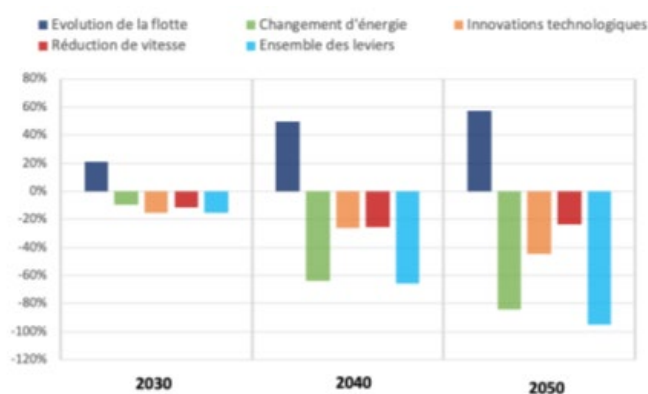
L'évolution de la consommation est conditionnée par différents leviers, ainsi que le met en évidence la figure ci-dessous : la diminution de 4% de la consommation observée en 2050 se décomposant en +57% pour l'évolution de la flotte (croissance des quantités transportées, de l'énergie soulevée et constructions de navires additionnels pour maintenir la capacité de transport par suite de la baisse de vitesse), compensée par différents leviers : -32% pour l'efficacité technologique (dont le vélique) ; -26% pour la réduction de vitesse ; -3% pour le changement d'énergie.



Le tableau ci-dessous présente l'évolution des émissions de CO₂e dans le scénario de référence : on observe dans ce scénario une baisse des émissions de 9,0 millions de tonnes en 2023 à 0,4 million de tonnes en 2050, soit une baisse de près de 95%.

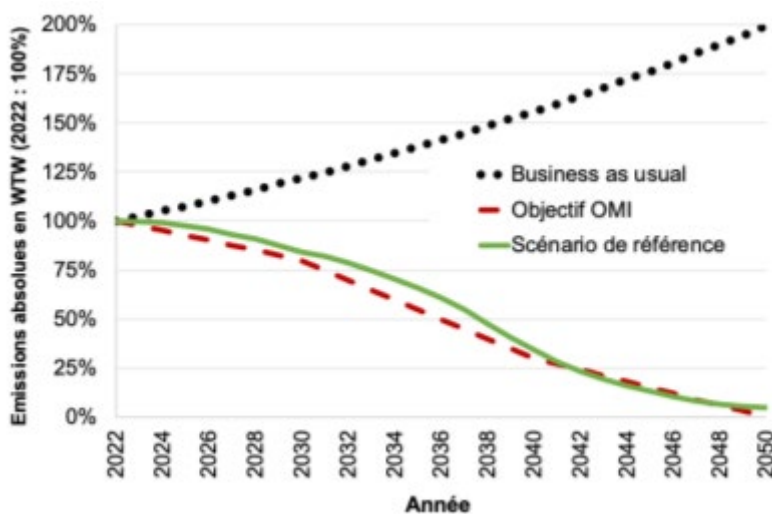
	2023	2030	2040	2050	2023-2050
Émissions CO ₂ e WTW (Mt)	9,0	7,6	3,1	0,4	143
Évolution des émissions	Référence	-16%	-66%	-95%	-
Évolution de la flotte	0%	21%	50%	57%	35%
Changement d'énergie	0%	-15%	-26%	-45%	-21%
Efficacité	0%	-12%	-26%	-23%	-18%
Réduction vitesse	0%	-10%	-64%	-84%	-41%

Comme le montre la figure ci-dessous, cette baisse se décompose en une augmentation de +57% liée à l'évolution de la flotte, compensée par une diminution apportée par les différents leviers de décarbonation : -45% pour l'efficacité technologique (dont le vélique), et -23% pour la réduction de vitesse et -84% pour le changement d'énergie.

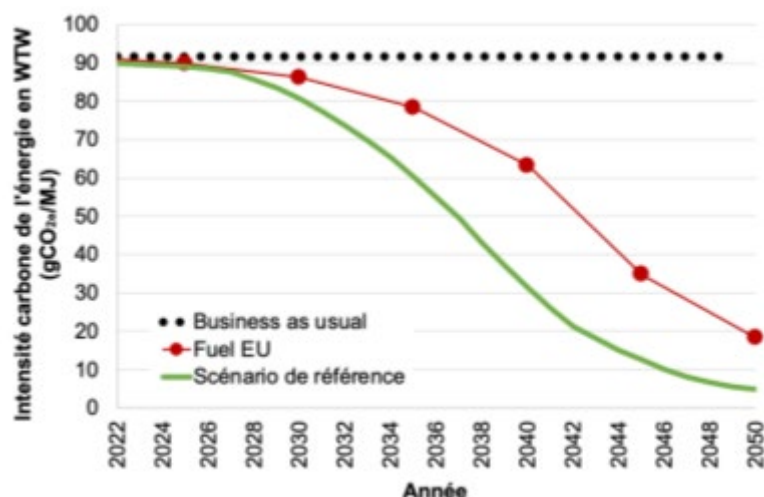


Les trajectoires de décarbonation de ce scénario de référence sont présentées dans les trois graphiques ci-dessous :

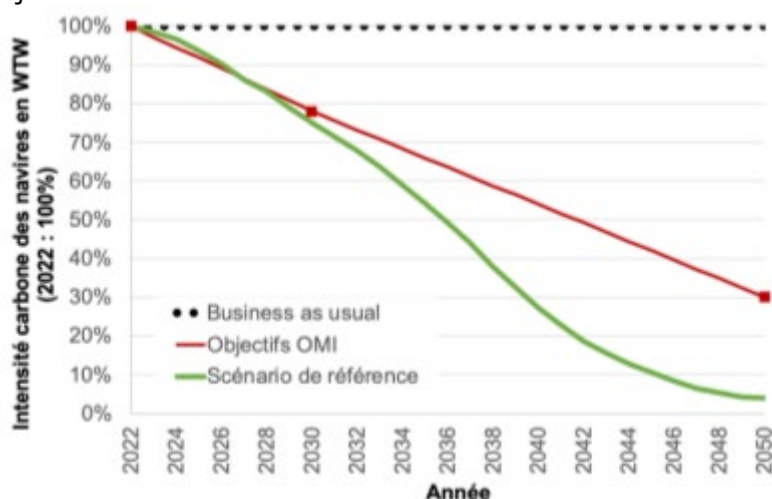
Les émissions absolues de la flotte (référence 2022, base : t CO₂e WTW), comparées à l'objectif actuel de l'OMI (-50% - tirets horizontaux) ;



L'intensité carbone de l'énergie consommée par la flotte (référence 2022, base : gCO₂e WTW/MJ), comparée aux niveaux établis par FuelEU ;



L'intensité carbone des navires de la flotte (référence 2022, base : gCO_{2e} WTW/t.km), comparée aux objectifs de baisse OMI.



Le tableau ci-dessous présente les besoins en énergie amont²⁹ dans le scénario de référence : ils sont de 27,8 TWh en 2022 et augmentent à 52,2 TWh en 2050 (dont 43,7 TWh pour produire les e-carburants).

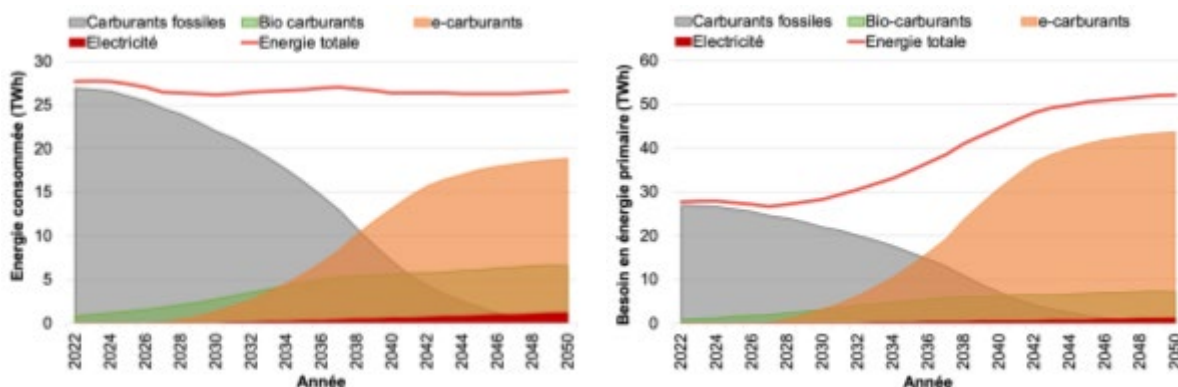
	2023	2030	2040	2050	2023-2050
Énergie consommée par la flotte (TWh)	27,7	26,2	26,4	26,6	774
Énergie amont (TWh)	27,8	28,3	44,6	52,2	1162
Énergie fossile	26,9	22,0	7,1	0,0	393
Énergie bio-sourcée ³⁰	0,9	3,1	6,2	7,2	136

²⁹ Il s'agit de l'énergie nécessaire à la fabrication des carburants de synthèse ou des bio carburant. Il est considéré un facteur de 1,5 à 2 en énergie amont pour fournir une unité de e-carburant, par rapport à l'énergie de la même unité en carburant fossile.

³⁰ L'énergie consommée à bord prend en compte la partie blend pour les bio-carburants à hauteur de 30% pour bio-fioul et bio-diesel et 100% pour biométhane et bio-méthanol), et une part supplémentaire de 10%, correspondant à l'énergie nécessaire pour la production des bio-carburants.

Énergie pour produire les e-carburants ³¹	0,0	3,2	30,6	43,7	571
Énergie électrique (quai/bord)	0,0	0,1	0,6	1,2	13

Les figures ci-dessous récapitulent, pour ce scénario de référence « révisé », les besoins en énergie de la flotte (haut) et en énergie primaire pour produire cette énergie (bas).



(a) Energie consommée par la flotte

(b) Besoin en énergie primaire

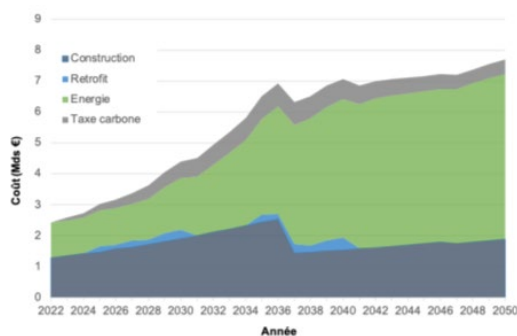
Le modèle permet aussi une estimation des coûts fondés sur le surcoût des navires décarbonés, les plans de rétrofit, les coûts de l'énergie (bio et e-carburants) et estime, avec toutefois une forte incertitude, le surcoût lié à l'ETS suivant des hypothèses d'évolution du marché et de différentes mesures réglementaires. Il n'intègre pas le coût des infrastructures de distribution ou portuaires.

Le résultat de ce scénario, par rapport à un scénario Business As Usual, est présenté ci-dessous, avec une décomposition par origine et en tenant compte ou non des ajouts de nouveaux navires pour compenser les baisses de vitesse.

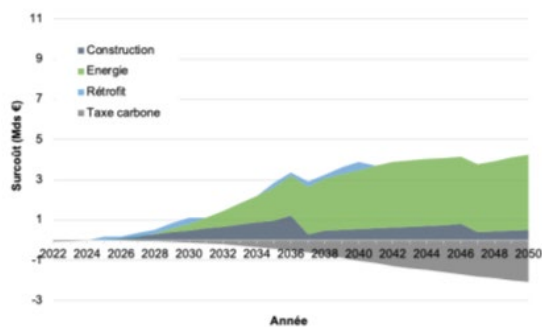
	Surcoût par rapport au scénario Business as usual (Mds d'euros)		
	Avec ajout de navires pour compenser les baisses de vitesse		Sans ajout de navires pour compenser les baisses de vitesse
	2023-2030	2023-2050	2023-2050
Surcoût total du scénario	2	45	28
Construction de navires	0,89	13,75	7,82
Plan de rétrofit	0,94	2,81	2,55
Changement d'énergie	0,08	48,63	38,71
Taxe carbone	-0,20	-20,00	-21,00
Ports et infrastructures	Non chiffré		Non chiffré
Programme R&D et démonstrateurs	Chiffré séparément		Chiffré séparément

³¹ Avec les hypothèses de rendement de production des e-carburants prises dans le modèle et en fonction du mix retenu.

Il ressort de ce scénario que les armateurs vont devoir faire face à des surcoûts élevés dans les prochaines années avec un accroissement des coûts des navires (et éventuellement du nombre de navires pour compenser la baisse de vitesse) et de l'énergie. La taxe carbone (mécanisme ETS) est présentée en négatif dans le surcoût par rapport au scénario « Business As Usual », mais représentera bien un coût additionnel pour les armateurs, de l'ordre d'un milliard d'euros annuels autour de 2030, en fonction des quotas et de la valeur du CO2 qui reste encore difficile à prévoir.



Coût total du scénario



Surcoût par rapport à un scénario « Business as Usual »

Ces ordres de grandeur qui doivent encore être affinés par des études spécifiques sont comparables aux projections réalisées dans le cadre d'études internationales, estimant le coût de la transition à 3000 milliards au niveau mondial, soit 92 Mds d'euros en se basant sur le prorata du PIB français. Le modèle estime en effet un surcoût, hors taxe carbone, entre 77 et 110 Mds d'euros.

9.4. Conclusions

Pour atteindre les objectifs de décarbonation et réduire la dépendance au soutage étranger, le scénario proposé (S3 « révisé ») met en évidence les ordres de grandeur suivants :

- Un besoin annuel de biocarburant estimé à 4,7 TWh en 2030 et à 5,2 TWh entre 2040 et 2050 ;
- Un besoin annuel de e-carburants estimé à 2,5 TWh en 2040 et 19,7 TWh en 2050 ;
- Un besoin total en électricité décarbonée amont pour produire des carburants décarbonés et permettre l'électrification directe des quais et de navires de 6,4 TWh en 2030, 37,4 TWh en 2040 et 53,1 TWh en 2050, soit l'équivalent respectivement sur ces trois années de 0,3, 2,9 et 4,2 réacteurs nucléaires ou encore 2,2, 21,3 et 30,9 champs éoliens comme celui de Saint-Nazaire ;
- un surcoût annuel pour la filière sont autour d'un milliard d'euros à partir de 2025, 1,5 Mds en 2030, 3,8 Mrds d'euros vers 2040 pour atteindre 4,7 Mrds d'euros en 2050. Le surcoût total sur la période 2023-2050 est estimé entre 30 et 45 Mds d'euros.

Il est à noter que ces besoins sont basés sur une application très optimiste des leviers techniques sur les navires :

- La mise en place des mesures d'efficacité technologique et opérationnelle, pour réduire de l'ordre de 30% les besoins énergétiques sur la période 2023-2050, ce qui est très ambitieux et ne sera atteint que par la mise en place d'un programme national de décarbonation du maritime coordonné et financé,
- Le développement très rapide de la propulsion par le vent agit très sensiblement sur la réduction des émissions. Selon ces hypothèses de déploiement très optimiste,

elle permet d'économiser en 2050 entre 25 et 30% d'énergie, soit l'équivalent de deux réacteurs nucléaires ou d'une quinzaine de champs éoliens comme celui de Saint-Nazaire.

Il est également à souligner que les hypothèses de baisse de vitesse des navires sont limitées à des valeurs acceptables pour les opérateurs de navires (de 10 à 20%) afin de ne pas trop impacter l'économie nationale par une baisse des volumes importés / exportés, mais aussi de limiter l'accroissement du nombre de navires pour conserver les volumes transportés.

10. Scénarios de décarbonation de chaque segment de flotte

10.1. Méthodologie retenue

Des modélisations de chaque stratégie des segments de flotte ont été réalisées avec les principes suivants :

- Les données suivantes ont été fournies par les groupes de travail représentant chaque segment :
 - o La flotte considérée (nombre de navires, pyramide des âges initiales, énergies consommées) ;
 - o Les évolutions probables de cette flotte – au regard des perspectives de croissance ;
 - o Les performances futures des navires, en fonction de leur potentialité d'intégrer les innovations technologiques

Ces données collectées permettent de disposer d'une vision la plus « réaliste » possible des gains en émission/en consommation permis par les innovations, ainsi que les disponibilités attendues et les niveaux de d'adoption escomptés.

Le périmètre considéré correspond à celui de la méthode « pavillon » détaillée en §4.2.

- La méthodologie retenue consiste à satisfaire la contrainte réglementaire la plus forte sur les mesures de court terme, et de viser le « net-zéro » en 2050. Les scénarios proposés sont ainsi conduits sous la contrainte de respecter trois indices réglementaires, dans l'ordre de priorité suivant :
 - o La réduction de l'intensité carbone de l'énergie soutée, selon les objectifs réglementaires de Fuel-EU ;
 - o La réduction de l'intensité carbone de la flotte considérée, selon les objectifs fixés par l'OMI ;
 - o La réduction des émissions absolues de la flotte considérée, selon les objectifs de l'OMI.

On définit ainsi un mix énergétique « moyen et réaliste » (en termes d'intégration de bio-carburants et de carburants de synthèse), permettant de respecter « au plus juste » la réglementation Fuel-EU à 2040, puis, entre 2040-2050, afin de tendre vers les objectifs OMI. Ce mix énergétique de base peut être adapté, de façon marginale, aux spécificités de chacun des segments de flotte.

Sur les trois segments – Porte-conteneurs, Grands ferries et Transporteur de gaz – les modélisations sont présentées pour trois scénarios définis ci-dessous.

	Evolution de la flotte	Déploiement et performances des innovations
Scénario 1 « Transition réaliste »	Croissance historique et conforme aux prévisions de chaque segment (études de marché, tendances, etc.).	Développement normal des innovations et de leur déploiement, gains technologiques et opérationnels réalistes
Scénario 2 « Technologique »	Croissance historique et conforme aux prévisions de chaque segment (études de marché, tendances, etc.).	Gains et vitesse de déploiement des solutions d'efficacité accrues : gains doublés, année de déploiement anticipé et fraction de la flotte concernée augmentée.
Scénario 3 « Sobriété »	Baisse du trafic maritime (report modal vers le routier et l'aérien ou baisse globale de la demande de transport). Baisse de vitesse (et baisse de la quantité de transport).	Développement normal des innovations et de leur déploiement, gains technologiques et opérationnels réalistes mais sur des fractions plus faibles des flottes.

Ces scénarios, présentés en Annexe 6, sont modélisés pour chacun des segments de flotte. Il est à souligner que :

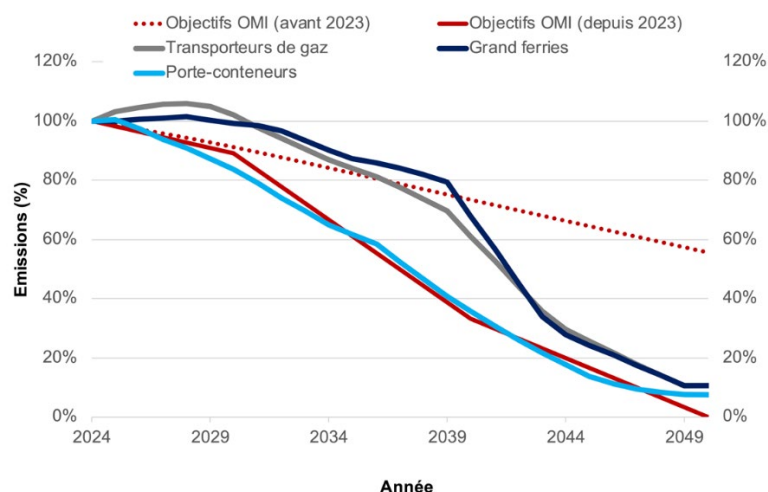
- La contrainte réglementaire Fuel UE conduit à un mix énergétique fondé sur un usage de plus en plus important de bio-carburants à partir de 2030 et de carburants de synthèse à partir de 2040. Quelques hypothèses supplémentaires sont formulées pour des segments particuliers :
 - o Pour les Transporteurs de gaz, l'utilisation en propulsion de l'énergie transportée ;
 - o Pour les Grands ferries, le déploiement plus important de batteries électriques (à la fois en construction neuve et en rétrofit, plus étendu sur ce segment de navires que sur les autres).
 - o Pour les Porte-conteneurs, il est choisi d'aller au-delà des objectifs Fuel EU, avec un soutage plus important et plus précoce de e-carburants (sous réserve d'une offre disponible), compte-tenu des conversions envisagées sur ce segment.
- Le déploiement des innovations technologiques, conjuguées à ces changements d'énergie, ont un taux d'adoption et de performances (gains en émissions et en consommations) calibrées pour chaque segment.

10.2. Synthèse des résultats

Le détail des résultats est donné à l'Annexe 6.

S'agissant des indices réglementaires, les résultats des modélisations mettent en évidence des tendances similaires pour les trois segments étudiés.

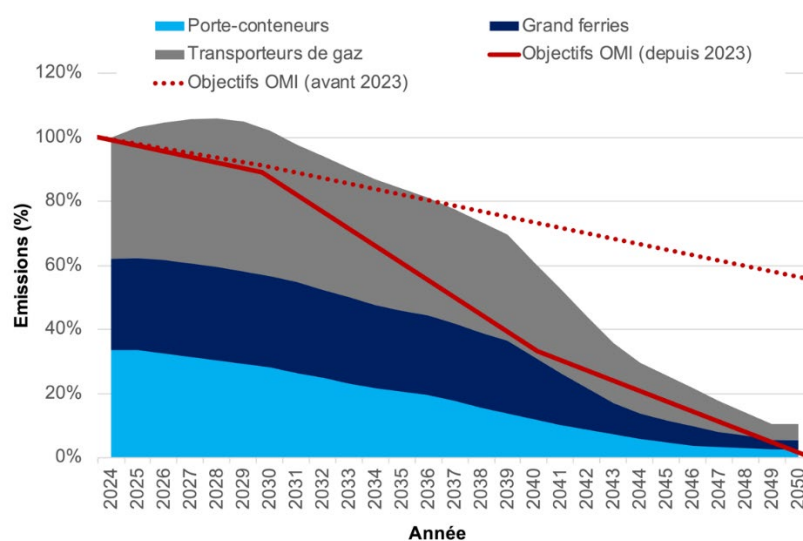
- **Les émissions de chacune des flottes, comptabilisées séparément, tendent vers le net zéro à 2050** (avec une asymptote à 10% en raison de l'inertie d'exploitation de navires les moins éco-efficients et des émissions WTT, non nulles, associées à la production des carburants de synthèse), comme le montre la figure ci-dessous.



Sur la figure, les émissions sont rapportées à la référence de la première année de modélisation (2024, base 100%). La réglementation OMI, notamment les points de passage à 2030 et 2040, définit un objectif de réduction par rapport à l'année 2008 ; les trajectoires présentées tiennent ainsi compte des réductions déjà constatées entre 2008 et 2024, de l'ordre de 10% à 15%.

Le soutage plus massif de carburants de synthèse à partir de 2040 permet de tendre vers les objectifs OMI (depuis 2023). Avant 2040, les tendances à la baisse des émissions se font sur le rythme des objectifs OMI antérieurs au MEPC 80 de juillet 2023 (sauf pour les Transporteurs de gaz, en raison de la forte croissance attendue pour ce segment de 2025 à 2030). Le rythme d'atteinte du net zéro à 2050 plus soutenu pour le scénario de « Sobriété », puis pour le scénario « Technologique », lequel permet d'atteindre des performances de décarbonation plus importantes.

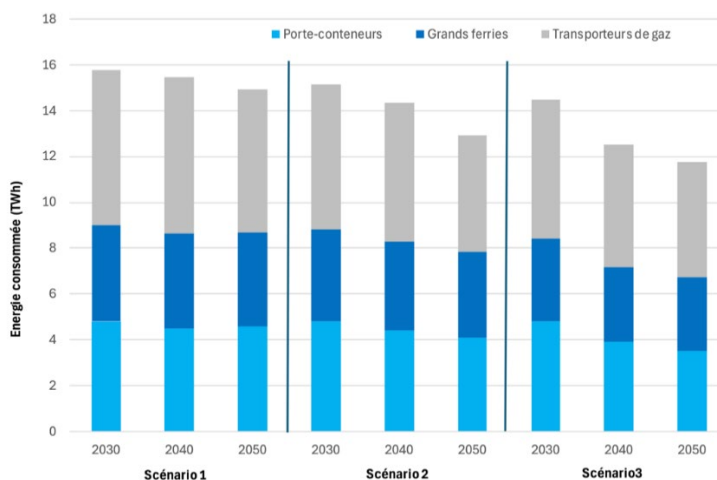
Les mêmes tendances s'observent sur les émissions cumulées des flottes, comment le montrent le graphique ci-dessous pour le scénario « Transition réaliste ». Il est important de noter que **les trajectoires simulées ne prennent pas en compte les effets de l'ETS et la façon dont le dispositif peut influencer les choix d'opération des navires ou d'intégration des innovations permettant aux armateurs d'atteindre des objectifs-clefs** (comme les points de passage 2030 et 2040 de la réglementation OMI).



La conjonction d'efforts en termes de développement et de déploiement en innovations (tendances du scénario « Technologique ») et, éventuellement, en termes

de sobriété (tendances du scénario « Sobriété ») s'avèrera sans doute pertinente pour atteindre les objectifs réglementaires.

- **L'intensité carbone de l'énergie** respecte, par construction des scénarios, la réglementation Fuel EU, laquelle s'avère moins ambitieuse que les objectifs de réduction des émissions fixés par l'OMI – comme l'illustre l'exemple du segment Porte-conteneurs, pour lequel des conversions importantes sont prévues vers des navires soutant plus de carburants de synthèse.
- **L'intensité carbone des flottes considérées de façon globale respecte, dans les trois scénarios, les tendances imposées par la réglementation OMI.** Quelques différences sont notables entre les trois segments (l'intensité carbone de la flotte Grands ferries, et dans une moindre mesure est un peu éloignée des objectifs, alors que celle de la flotte Transporteur de gaz et Porte-conteneurs est plus proche des objectifs) : ceci s'explique par les différences de pyramides âges initiales des flottes, exploitées sur des durées différentes, et qui intègrent plus ou moins « rapidement » des innovations favorisant leur efficacité énergétique (notons cependant que, pour les Grands ferries, la durée d'exploitation des navires, plus longue que celle des autres, épargne les émissions carbonées liées à la construction des navires).
- **L'énergie consommé par les flottes évolue dans le temps, pour les trois segments considérés, vers une diminution globale à 2050** par rapport au niveau 2024. L'énergie consommée est logiquement moindre dans le scénario « Sobriété », puis « Technologie » par rapport au scénario « Transition réaliste ». On note cependant des différences entre les segments
 - o Pour les Porte-conteneurs, l'énergie consommé par la flotte reste relativement constante, passant sur le scénario « Transition réaliste » de 4,8 TWh en 2030 à 4,6 TWh en 2050 (avec un passage à 4,5 TWh en 2040). Ceci s'explique par les mesures d'efficacité (énergie, innovation, réduction de vitesse), qui permettent de limiter un besoin en hausse en raison de la croissance de la flotte ;
 - o Pour les Transporteurs de gaz, l'énergie consommé par la flotte commence par augmenter en raison de la forte croissance attendue pour ce segment à 2030 : pour le scénario « Transition réaliste », elle passe de 5,5 TWh en 2025 à 6,2 TWh en 230, valeur autour de laquelle elle se stabilise entre 2030 et 2040, pour diminuer ensuite à 6,2 TWh en 2050 ;
 - o Pour les Grands ferries, l'énergie consommée par la flotte reste relativement constante, jusqu'à 2050, autour de 4,2 TWh dans le scénario « Transition réaliste ». Les navires étant exploités sur une durée plus grande dans ce segment, la flotte ne bénéficie pas d'une efficacité accrue (comme c'est le cas par exemple pour les Porte-conteneurs) et la diminution de la consommation énergétique est moins notable.

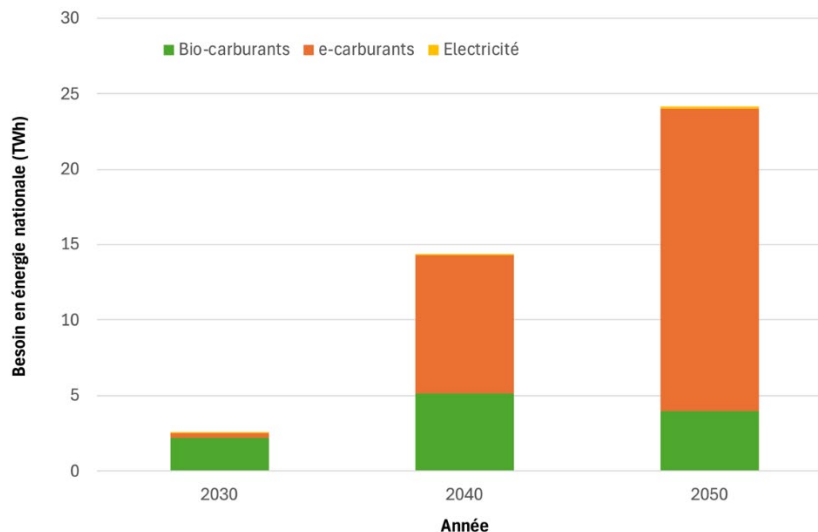


- **Le « besoin en énergie nationale »** (i.e. l'énergie décarbonée nécessaire à produire en France les carburants alternatifs aux carburants fossiles) **augmente pour les trois segments entre 2030 et 2050** (cette augmentation est moindre dans le le scénario « Sobriété », puis « Technologie » par rapport au scénario « Transition réaliste »). L'augmentation est relativement modérée entre 2030 et 2040 ; elle devient plus importante entre 2040 et 2050, en raison de l'usage massif des carburants de synthèse. Plus spécifiquement, les évolutions constatées dans le scénario « Transition réaliste » sont les suivantes :
 - o Pour les Porte-conteneurs, le besoin passe de 4,8 TWh en 2030, à 5,2 TWh en 2040 pour atteindre 7,4 TWh en 2050 ;
 - o Pour les Transporteurs de gaz, le besoin passe de 6,2 TWh en 2030, à 9,2 TWh en 2040 pour atteindre 11,9 TWh en 2050 ;
 - o Pour les Grands ferries, le besoin passe de 4,2 TWh en 2030, à 5,0 TWh en 2040 pour atteindre 6,1 TWh en 2050.

Au total, le besoin en énergie cumulé pour les trois segments est :

- o Dans le scénario « Transition réaliste » : 15,9 TWh en 2030, 19,1 TWh en 2040 et 25,1 TWh en 2050 ;
- o Dans le scénario « Technologie » : 15,2 TWh en 2030, 17,4 TWh en 2040 et 22,0 TWh en 2050 ;
- o Dans le scénario « Sobriété » : 14,6 TWh en 2030, 15,2 TWh en 2040 et 20,1 TWh en 2050.

L'évolution des besoins en « énergie nationale » cumulés pour les trois segments étudiés (on présente la moyenne des trois scénarios étudiés) en 2030, 2040 et 2050 est donnée ci-dessous.



Pour comparaison théorique, on rappelle que la production :

- o D'une tranche nucléaire est de l'ordre de 10 TWh (exemple de la dernière centrale REP construite en France) ;
- o D'un parc éolien se situe entre 1 et 2 TWh (exemple du parc de Saint-Nazaire).

Ainsi par exemple, la production des e-carburants pour les flottes des trois segments à 2050 mobiliserait deux tranches nucléaires.

10.3. Conclusion

Les hypothèses et les résultats de modélisation de trajectoires de décarbonation pour trois segments de flotte (Porte-conteneurs, Transporteurs de gaz et Grands ferries) ont été présentés pour trois scénarios différents (traduisant des rythmes de transition et des besoins en ressources énergétiques différents).

La méthode de travail retenue pour l'étude a consisté à :

- Collecter les données nécessaires aux modélisations, auprès des groupes de travail par segments – ces données concernent la flotte (nombre de navires, âge, consommation) et les gains techniques et opérationnels attendus pour chaque segment (gains en réduction des émissions et de la consommation) ;
- Déterminer un mix énergétique respectant la réglementation Fuel EU ;
- Analyser l'évolution des autres indices (émissions globales et intensité carbone globale) ;
- Identifier le besoin énergétique.

Les principales conclusions de l'étude portent sur les points suivants.

- Évolution des émissions

- **L'intensité carbone des flottes** considérées de façon globale respecte les tendances imposées par la réglementation OMI ;
- **Les émissions de chacune des flottes**, comptabilisées séparément, **tendent vers l'objectif net zéro à 2050 formulé par l'OMI**, mais ne respectent individuellement pas les objectifs de réduction à 2030 et 2040. Les trajectoires simulées ne prenant pas en compte les effets de l'ETS et la façon dont le dispositif peut influencer les choix d'opération des navires ou d'intégration des innovations, les tendances peuvent être de ce point de vue considérées comme « pessimistes » : en prenant en compte ces effets, des trajectoires en accord avec les points de passage 2030 et 2040 seront vraisemblablement observées).

- Évolution de la consommation d'énergie

- **L'énergie consommé par les flottes évolue, pour les trois segments considérés, vers une diminution globale à 2050** par rapport au niveau 2024, se situant, selon les scénarios entre 14-15 TWh en 2030, 12-15 TWh en 2040 et 11-13 TWh en 2050
- **Le besoin en énergie nationale** (i.e. l'énergie décarbonée nécessaire à produire en France les carburants alternatifs aux carburants fossiles) **augmente pour les trois segments entre 2030 et 2050**. Au total, le besoin en énergie cumulé pour les trois segments se situe, selon les scénarios, entre 14-15 TWh en 2030, 15-19 TWh en 2040 et 20-325 TWh en 2050.

10.4. Perspectives

Le périmètre retenu dans le cadre de ces travaux correspond aux navires sous pavillon français : l'objectif de décarbonation qui concerne ces navires met en évidence des besoins importants en énergie nationale. Les navires sous pavillons français n'assurent pas à eux seuls les services de transport dont a besoin l'économie du pays : ainsi, afin de concourir à l'objectif de décarbonation de l'économie dans son ensemble, un périmètre plus large doit être considéré – et les besoins en énergie seront alors bien plus importants.

Afin de compléter la présente étude et de dégager une estimation consolidée du besoin en énergie pour le maritime national, il s'avère pertinent de :

- **Élaborer les scénarios de transition des autres segments de flotte**, selon les mêmes hypothèses, afin de disposer d'un total du besoin en énergie pour les navires sous pavillons français ;

- **Fiabiliser les données relatives à l'évolution du besoin en transport maritime**, en lien avec les différentes analyses menées par les services de l'État et les experts du monde académique et économique, afin de représenter de façon « réaliste » le besoin en approvisionnement pour le pays ;
- **Engager une étude globale sur une définition pertinente d'un périmètre maritime national**, permettant de représenter de façon plus juste l'impact du maritime des états – cette étude, à mener dans un premier temps au niveau national, peut s'appuyer sur les réflexions engagées par des nations maritimes (Royaume-Uni, Singapour) et se poursuivre dans un contexte international, via un groupe de travail international ;
- **Produire des trajectoires actualisées prenant en compte les effets de l'ETS**, à partir du retour d'expérience des armateurs et de données à intégrer dans les modélisations actuelles ;
- **Travailler sur le bouclage énergétique du maritime au regard des disponibilités d'énergie**, dans le cas où les demandes ne seraient pas couvertes, afin de quantifier l'impact de choix d'attribution et proposer des arbitrages par segments de flotte.

11. Proposition de plan d'action pour décarboner le secteur maritime

Ce chapitre présente un plan d'action révisé par rapport à la version de la feuille de route 2023 et simplifié qui prend en compte les évolutions de gouvernance, les évolutions des stratégies de filière et certains arbitrages et orientations du Gouvernement.

Il est toujours construit avec les quatre objectifs suivants :

1. **Atteindre les objectifs réglementaires** définis au niveau de l'OMI, de l'UE et au niveau national ;
2. **Réduire au maximum la consommation d'énergie du maritime** afin de contribuer aux efforts nationaux de sobriété et favoriser l'usage du maritime et du fluvial pour réduire globalement les besoins énergétiques du transport ;
3. **Assurer le développement économique des acteurs nationaux du maritime** et saisir l'opportunité de changements technologiques et énergétiques pour relocaliser des industries et des emplois en France ;
4. **Accroître la souveraineté d'approvisionnement de la France** dans un contexte de changements majeurs à venir pour les acteurs du transport et de la logistique (réglementation, fiscalité, baisse de vitesse, investissements).

Ce plan d'action s'appuie sur le savoir-faire des acteurs français qui disposent des compétences et des moyens de le mettre en œuvre, sous réserve d'un soutien de l'État, dans une ambition collective de faire de la France une nation leader dans la décarbonation du maritime.

Le plan d'action révisé est aujourd'hui décliné en cinq axes.

- Axe 1 : EFFICACITE ENERGETIQUE (design optimal/technologies et excellence opérationnelle)
- Axe 2 : ENERGIES ET INFRASTRUCTURES (Production, stockage, transport et distribution d'énergies et de vecteurs d'énergie décarbonée ...)
- Axe 3 : SOBRIETE (Sobriété d'usage et de conception, décarbonation de la phase de production et économie circulaire)
- Axe 4 : REGLEMENTATION (Compléter, renforcer et stabiliser le cadre réglementaire relatif aux émissions de gaz à effet de serre des navires)
- Axe 5 : MISE EN OEUVRE opérationnelle et SUIVI

11.1. Axe 1: EFFICACITE ENERGETIQUE (design optimal/technologies et excellence opérationnelle)

Design optimal/technologies

Cette thématique vise à déployer à bord des navires neufs ou existants les solutions technologiques les plus adaptées au profil opérationnel des navires et à aboutir à des design de navires cohérentes et optimisées pour répondre à ces profils opérationnels en se basant notamment sur les travaux des GT par segment de flotte.

Action 1.1	<p>Permettre l'évaluation rapide et précise des solutions de décarbonation identifiées dans les travaux par segments de flotte sur des plateformes technologiques et des tests sur banc à terre ou en mer et favoriser l'émergence de standards sur les technologies clés</p> <p>Mettre en place des plateformes technologiques et de tests (bancs d'essais et logiciels) pour accompagner le développement des briques technologiques identifiées dans le cadre notamment des GT par segments de flotte ainsi que de standards associés³²</p> <p><u>Coût</u>: 150 M€ pour 3 à 5 plateformes</p> <p><u>Porteurs</u>: MEET2050, Centres de recherche publics, industriels</p>
Action 1.2	<p>Mettre en place des projets structurants favorisant le développement de filières industrielles sur les principaux leviers de décarbonation technologiques et opérationnels en recherchant une mutualisation entre segments de flotte.</p> <p>Faire émerger des équipementiers et fournisseurs de services nationaux sur principaux leviers de décarbonation pour lesquels la France dispose d'entreprises en position de prendre une part de marché significative, en soutenant le développement des solutions, leur industrialisation (usines) et le soutien à leur déploiement commercial (premières commandes, surcoût initial, etc.). Exemple de technologies industrielles : systèmes de propulsion par le vent³³ (ailes, kites, rotors ..), hybridation électrique (batteries et pile à combustible forte puissance marines, architectures hybrides)³⁴, cuves de stockage pour les nouveaux carburants, gestion de l'hydrogène liquide à bord des navires, propulseurs innovants, systèmes récupération chaleur / froid, logiciels d'aide à la décision (gestion de l'énergie, routage).</p> <p><u>Coût</u>: 150 à 300 M€ par projet structurant, 5 projets soit 1 Md€ sur 5 ans</p> <p><u>Porteurs</u>: CSF, GICAN, windship, Etat (DGAMPA, DGE)</p>
Action 1.3	<p>Favoriser la réalisation de navires démonstrateurs allant vers le zéro émission, sur la base des retours des GT décarbonation par segment de flotte</p> <p>Mettre en place des navires-concepts à échelle 1 par segment de flotte en capacité d'opérer en conditions réelles, basées sur les briques technologiques développées. Ces navires intégreront une approche globale de l'écoconception (analyse complète du cycle de vie, optimisation du design et des technologies pour le profil d'usage, etc.). Les retombées économiques</p>

³² Les plateformes nécessaires sont liées à l'hybridation électrique des navires, la propulsion par le vent, les performances hydro et aérodynamique, les données de performance, les moyens d'essais, etc.

³³ Un premier projet structurant vélique est en cours de mise en place par les équipes projet de MEET2050, l'association WindShip et l'IRT Jules Vernes, pour un budget de l'ordre de 200 M€ sur 5 ans.

³⁴ Le projet Helena porté par le CEA est en cours de montage, pour un budget de l'ordre de 150 M€ sur 5 ans

locales, en particulier sur le segment de la fabrication des matériels innovants seront prises en compte.

Coût: 2 Mds € sur 5 ans, dont 600 M€ liés aux innovations

Porteurs: DGAMPA, DGE en lien avec le CORIMER, Armateurs, chantiers, bureaux d'étude, équipementiers, ports, Etat

Excellence opérationnelle :

Cette thématique vise à améliorer l'efficacité opérationnelle des navires par la mise en place d'outils de suivi en temps réel de la performance, par l'évaluation des améliorations potentielles liées aux interfaces entre les terminaux portuaires et les navires, l'étude de la pertinence de baisser la vitesse de certains navires et par le développement à grande échelle du report modal.

Action 1.4	Formation initiale et continue des marins Mettre en place des formations initiales et continues permettant d'accompagner la montée en compétence des marins en les formant à l'utilisation des technologies de décarbonation et à l'écoconduite. <u>Coût</u> : non chiffré à ce stade <u>Porteurs</u> : DGAMPA, CINav, Écoles d'ingénieur maritimes, ENSM, Lycée maritime
Action 1.5	Favoriser l'instrumentation des navires, la collecte et l'analyse des données liées à la performance Accompagner les armateurs dans l'installation d'outils de monitoring de la performance et de la consommation de leurs navires, incluant l'installation de systèmes de mesure, d'outils d'analyse et d'aide à la décision, dans la suite du programme AMMARREE dédié aux navires de pêche. <u>Coût</u> : 30 M€ sur 5 ans (30 k€ par navire, sur une flotte de 1 000 navires parmi les plus émetteurs des différents segments de flotte) + 10 M€ pour le développement et déploiement des outils d'analyse. <u>Porteurs</u> : Armateurs, éditeurs logiciels, équipementiers, chantiers
Action 1.6	Étude des opportunités d'optimisation des interfaces navires / ports Évaluer les solutions et gains possibles liés à l'optimisation des interfaces entre les navires et ports / terminaux à l'échelle nationale (optimisation du chargement / déchargement, du branchement à quai, des solutions d'arrivée « juste à temps », etc.) en lien avec l'axe « amélioration de la performance du passage portuaire » de la Stratégie Nationale Portuaire (SNP) de 2021, et recenser les initiatives et solutions mises en place ou en cours de déploiement à l'international (ex : association internationale de standardisation TIC4.0). <u>Coût</u> : 300 k€ sur 2 ans Porteur: Etat (DGITM, DGAMPA) MEET2050, ports, gestionnaires de terminaux, armateurs
Action 1.7	Favoriser le report modal pour réduire l'empreinte énergétique globale du transport et de la logistique Favoriser le report modal pour réduire l'empreinte énergétique globale du transport et de la logistique grâce à l'efficacité énergétique du transport

maritime et fluvial par rapport aux autres modes de transport, en lien avec les autres stratégies nationales (SNP, SNDFF, SNF)

Coût : non chiffré

Porteurs: État (DGITM) , ADEME, collectivités, chargeurs, logisticiens, ports, opérateurs de plate-forme multimodale, opérateurs de transport terrestre massifié, gestionnaires d'infrastructures ferroviaire et fluviale

11.2. Axe 2 : ENERGIES ET INFRASTRUCTURES (Production, stockage, transport et distribution d'énergies et de vecteurs d'énergie décarbonée ...)

La disponibilité en énergie bas carbone constituera une des pierres angulaires de la transition énergétique du transport maritime dont le fonctionnement est aujourd'hui complètement dépendant des énergies fossiles. Comme indiqué précédemment, les carburants décarbonés seront notablement plus chers et présentent des contraintes d'utilisation plus importantes que leurs équivalents fossiles.

La transition des modes d'énergie constitue une véritable opportunité de relocaliser la production énergétique sur notre territoire, de renforcer l'attractivité de nos ports par une offre d'avitaillement unique en énergies bas carbone et renouvelables, de sécuriser nos offres de soutage, et de faire des énergéticiens, des industriels et des ports français de véritables champions des énergies et des vecteurs énergétiques de demain. La finalité est de développer de nouvelles activités économiques et industrielles, garantes de la souveraineté maritime du pays, créatrices de valeur et d'emploi sur le territoire, de permettre aux ports français d'accompagner la décarbonation du secteur et de réduire la dépendance énergétique du secteur.

Cette ambition, partagée par les acteurs du maritime, nécessite de réaliser de lourds investissements dans des infrastructures de production, stockage, transport, distribution et d'avitaillement. Elle nécessite la mise en place d'une véritable planification de la disponibilité des carburants décarbonés (dans le temps et sur territoire) au regard des besoins du maritime, d'assurer rapidement la mise en place de premiers démonstrateurs avant de pouvoir déployer massivement les solutions à travers des investissements importants portés par les énergéticiens, auxquels l'État doit prendre part, et qui nécessiteront des engagements des armateurs.

À l'interface entre la terre et la mer, les ports sont des nœuds multimodaux, énergétiques, industriels et accueillent des activités liées au transport maritime. En particulier, ils abritent souvent un tissu industriel et logistique. La sécurisation du foncier portuaire, le soutien à la décarbonation des écosystèmes portuaires et aux investissements en infrastructures et équipements portuaires nécessaires à la décarbonation de l'économie nationale doivent être intégrés aux réflexions, en complément des sujets relatifs à la fourniture d'énergies décarbonées aux navires.

Action 2.1	Arbitrer sur l'énergie dédiée au maritime et sur le déploiement d'une filière de production de carburant maritimes durables en France
------------	--

Objectif d'une souveraineté énergétique maritime minimale

Porteur : Etat

Action 2.2	Engager une planification puis réaliser le déploiement des infrastructures de distribution énergétiques nécessaires aux besoins du maritime
------------	--

Mettre en place une planification à l'échelle nationale, déclinée par façade maritime, des besoins et disponibilités des carburants décarbonés (produits en France ou importés) du maritime. Assurer le déploiement des infrastructures énergétiques associées –construction de jetées sur les

principaux grands ports maritimes–, développement d’infrastructures de stockage et de soutage (navires ravitailleurs, solutions *truck to ship* ...) sur les ports, y compris les ports de taille plus réduite

Coût: à estimer, à titre d’exemple 200 M€ pour la construction d’une jetée polyvalente (multi énergies)

Porteurs: État, collectivités, Ports

Action 2.3 Production de biocarburants liquides et gazeux en lien avec le projet structurant §2.1 du contrat de filière CSF des industriels de la mer, les travaux dans le domaine de l’aérien et l’arbitrage de l’action 2.1

Soutenir le déploiement de projets industriels en biocarburants durables, liquides et gazeux, dans des quantités suffisantes pour atteindre les objectifs réglementaires.

Coût: à titre indicatif, une usine de biocarburants liquides peut atteindre 1,5 Md€ pour une production de 200 000 tonnes par an

Porteur: Énergéticiens, État, armateurs et ports

Action 2.4 Développement et tests de biocarburants liquides dédiés au maritime – en lien avec le projet structurant §2.1 du contrat de filière CSF des industriels de la mer

Soutenir un programme de recherche et développement dédié aux tests et au déploiement des biocarburants liquides de nouvelle génération destinés au maritime (spécificités des moteurs marins 2 temps par exemple) et développer des unités de production françaises.

Coût: 15 M€ pour la partie R&D / prototypes, 40 M€ pour la partie démonstrateur, 10 M€ pour la réalisation de tests à bord, sans intégrer le déploiement par la mise en place d’unités de production intégrées dans les actions 3.1 et 3.2.

Porteurs: CSF, Énergéticiens, Armateurs

Action 2.5 Développement de la filière de production de e-carburants marins - en lien avec le projet structurant §2.1 du contrat de filière CSF des industriels de la mer, des travaux dans le domaine de l’aérien et de l’arbitrage de l’action 2.1.

Soutenir les projets industriels de construction de premières unités de production de e-carburants marins durables. Au-delà des infrastructures terrestres, cela implique aussi l’émergence d’une industrie de production d’hydrogène à partir des énergies marines renouvelables, notamment l’éolien en mer, pour accélérer à moyen terme la production de e-carburants ainsi que la décarbonation des industries portuaires.

Coût: à titre indicatif, une usine de e-méthanol ou de e-méthane peut atteindre jusqu’à 2 Mds€ pour une production de 1 TWh/an.

Porteurs: CSF, Énergéticiens, Armateurs

Action 2.6 Adapter les infrastructures d’importation aux nouvelles énergies

Construire une filière française d’importation et d’exportation de e-carburants et de leurs intrants (notamment de Hubs d’import-export). Intégrer cette réflexion dans les textes réglementaires français en préparation (LPEC, PPE, SNBC...).

Implications réglementaires: Adapter le plan *RePower EU* pour permettre l’importation de e-carburants

Porteurs: État (DGEC), Industriels, Ports

Action 2.7 **Développer la filière du CO2 autour du maritime et en lien avec les ports et développer les technologies de CCS en lien avec le projet structurant § du contrat de filière du CSF des industriels de la mer.**

Développer, à l'image des pays du nord de l'Europe, une économie et une industrie française du CO2, allant de la capture sur les navires ou dans les industries portuaires au transfert du CO2 à quai, puis à son utilisation pour produire des e-carburants.

Implications réglementaires: Autoriser la capture de CO2 fatal et incompressible pour la production d'e-carburants au-delà de 2041

Porteurs: Énergéticiens, Ports

Action 2.8 **Permettre l'électrification des quais et le rechargement électrique des navires**

Accélérer le déploiement des infrastructures portuaires de raccordement à l'électricité à quai des navires et de carburants durables. Les puissances mises en jeu nécessitent des adaptations électriques majeures.

Coût: 5 M€ par prise de raccordement. Étude des potentiels de chargements multimodes (électricité + fluide) dans les ports: 200 k€. à définir pour les carburants durables

Porteurs: Ports, Collectivités, État (DGITM, DGAMPA), Industriels (GICAN).

11.3. Axe 3 : SOBRIETE (sobriété d'usage et de conception, décarbonation de la phase de production et économie circulaire)

Les chantiers et équipementiers navals et nautiques français contribuent en premier lieu à la décarbonation en innovant pour réduire les émissions pendant la phase d'opérations et en préparant le navire de demain. La phase de production et de fin de vie des navires est aussi à considérer, tout comme la capacité d'ancrer les activités de construction navale durablement sur le territoire. Sur l'ensemble des axes réglementaires, il conviendra de veiller à s'assurer de ne pas imposer une contrainte aux seuls chantiers français.

Action 3.1 **Ecoconception**

Généraliser l'usage des méthodes d'écoconception pour tout nouveau navire et développer une méthodologie et un référentiel communs pour l'analyse de cycle de vie (ACV) des navires - en lien avec le projet structurant § 1.3 du contrat de filière du CSF des industriels de la mer.

Définir une méthodologie d'ACV et consolider les principales données d'inventaire (énergies, matériaux, etc.) spécifiques aux domaines naval, fluvial et nautique (profils d'émissions moteurs, matériaux composites, process de soudure, etc.).

Coût: 1 M€ sur 5 ans

Porteurs: CSF, GICAN, IFAN, ADEME, DGAMPA

Action 3.2 **Matériaux et procédés pour l'industrie navale verte – en lien avec le projet structurant §1.3 du CSF des industriels de la mer**

Accompagner l'innovation et les expérimentations dans les nouveaux matériaux et procédés industriels par les acteurs français permettant des gains d'empreinte carbone et la circularité en fin de vie pour réussir à recycler 100 % d'un bateau déconstruit.

Porteurs: CSF, GICAN, IFAN, ADEME

Action 3.3 Accès aux intrants décarbonés en assurant la compétitivité

Assurer l'accès à des matières premières décarbonées en garantissant la compétitivité de l'industrie française et des conditions de concurrence internationale équitables. Dans un premier temps, des études d'impact du MACF (mécanisme d'ajustement carbone aux frontières) apparaissent nécessaires pour documenter les impacts sur la compétitivité et les risques de délocalisation induits.

Porteurs : État

Implications réglementaires : Assurer la cohérence des textes au niveau européen (mécanisme d'ajustement carbone aux frontières par exemple) pour garantir la compétitivité des filières navales françaises et lutter contre les distorsions sur le marché intérieur tout en décarbonant la production des matières premières.

Action 3.4 Développer la déconstruction sur le territoire

Consolider la filière de déconstruction des bateaux et navires pour garantir sa montée en puissance et l'augmentation du taux de recyclage. Augmenter à 5% la quote-part de la TAEMP affectée à l'éco-organisme APER, augmenter l'utilisation de la capacité de déconstruction française

Coût : non chiffré à ce stade

Porteurs : État, chantiers de déconstruction et de construction

11.4. Axe 4 : REGLEMENTATION (Compléter, renforcer et stabiliser le cadre réglementaire relatif aux émissions de gaz à effet de serre des navires)

Afin d'assurer que l'ensemble des navires concernés contribuent à l'atteinte des objectifs de décarbonation et que les ports français soient compétitifs dans la chaîne de valeur de la décarbonation par rapport à leurs concurrents européens, il est nécessaire, conjointement aux actions évoquées plus haut, de poursuivre la construction, de consolider et stabiliser le cadre réglementaire de long terme relatif aux émissions de GES des navires en navigation et à quai, au niveaux mondial, européen et national.

Action 4.1 Assurer un rôle de leader dans les instances réglementaires internationales

Continuer d'exercer un rôle leader au sein des instances européennes et de l'OMI pour la mise en place et la consolidation d'un cadre réglementaire le plus ambitieux possible tout en assurant une concurrence internationale loyale.

Porteur : État (DGAMPA, DGEC)

Action 4.2 Optimiser au niveau national l'application du cadre réglementaire international et européen

Étudier l'opportunité et la faisabilité d'une application la plus large possible des outils réglementaires internationaux au niveau national, comme par exemple les mesures de rendement énergétique de l'OMI ou les obligations de branchement à quai qui seront prévues le cas échéant par la réglementation européenne, tout en assurant une concurrence internationale loyale.

Porteur : État (DGAMPA, DGEC) en concertation avec les acteurs concernés (fédérations professionnelles, ports, etc.)

Action 4.3	Explorer des mesures réglementaires nationales pour les segments de flotte non couverts par la réglementation internationale
	<p>Étudier, le cas échéant par des financements dédiés, l’opportunité et la faisabilité d’éventuelles réglementations nationales (de type normatif et/ou incitatif) sur les émissions de GES des segments de flotte non couverts par les réglementations internationales et européennes.</p> <p><u>Porteur</u> : État (DGAMPA, DGEC) en concertation avec les acteurs concernés</p>
Action 4.4	Assurer une cohérence entre la réglementation, les ambitions de décarbonation et les besoins de production d’énergie décarbonée
	<p>Contribuer à la mise en place d’un cadre réglementaire clair et incitatif pour le déploiement rapide des vecteurs d’énergie bas carbone et renouvelables. Tenir compte dans les documents de politiques publiques, notamment la loi de programmation énergie-climat (LPEC), la Programmation pluriannuelle de l’énergie (PPE), la Stratégie nationale bas carbone (SNBC), des opportunités de production de e-carburants pour développer cette industrie du futur.</p> <p><u>Porteur</u> : État(DGAMPA, DGECSGPE) – AdF et MEET2050</p>
Action 4.5	Etudier la mise en place d’un système d’obligation déclaratives des carburants soutés dans les ports
	<p>Ce mécanisme permettra d’améliorer la traçabilité des carburants (type et quantités) soutés dans les ports afin d’identifier par méthode directe les quantités soutées en France.</p> <p>Porteur : Etat (DGEC, DGAMPA, DGITM)</p>

11.5.Axe 5 : MISE EN OEUVRE opérationnelle et SUIVI

Cet axe concerne la mise en œuvre opérationnelle et le suivi de la feuille de route. Il vise à favoriser une parfaite collaboration des acteurs de la filière à travers un socle commun de connaissance fondé sur des données fiables et des outils d’aide à la décision pour orienter les politiques publiques et stratégies industrielles de façon coordonnées. La déclinaison opérationnelle nécessite de transformer les objectifs de décarbonation présentés dans les scénarios en projets concrets permettant de les atteindre (recherche, développement, démonstrateurs, déploiement).

Action 5.1	Développement de connaissances et de données fiables sur la transition du maritime au bénéfice des acteurs publics et privés de la filière
	<p>Réaliser des études technico-économiques, des analyses indépendantes permettant de fiabiliser les informations et données liées à la transition du maritime : gains, rendements, coûts, disponibilités, émissions ...</p> <p>Engager en lien avec le CITEPA une étude globale sur une définition pertinente d’un périmètre maritime national.</p> <p>Continuer les travaux de déclinaison de la feuille de route par segments de flotte</p> <p><u>Coût</u> : minimum 3.5 M€ sur 5 ans</p> <p><u>Porteurs</u> : DGAMPA, CMF , ADF, GICAN, CITEPA, DGITM, DGEC,MEET2050</p>
Action 5.2	Utiliser la commande publique pour soutenir les innovations et les premières commandes de solutions de décarbonation – projet structurant §1.1 du contrat de filière du CSF
	<p>Dans un objectif d’amorçage et de soutien :</p>

- Inclure systématiquement l'approche de l'écoconception suivant les standards les plus évolués pour la conception de navires pour l'État ou les collectivités.
- Inclure dans les appels d'offres publics d'achat de navires l'intégration d'équipements de décarbonation, pour un montant minimum de 20% de la valeur du navire.

Coût: 200 M€ sur 5 ans (20% de surcoût sur plus de 200M€ d'investissements par an)

Porteurs: SGMer

Action 5.3	<p>Développement d'outils d'aide à la décision pour le soutien aux politiques publiques et aux stratégies industrielles</p> <p>Réaliser le développement des outils d'aide à la décision nécessaires pour orienter les politiques publiques et stratégies d'investissement industrielles (par exemple CAP2050)</p> <p><u>Coût</u>: 2 M€ sur 5 ans</p> <p><u>Porteurs</u>: MEET2050, centres de recherche publics, CITEPA, DGAMPA, DGITM</p>
<hr/>	
Action 5.4	<p>Formation et sensibilisation des décideurs du monde maritime aux enjeux de transition</p> <p>Mettre en place une action de formation et de sensibilisation des décideurs privés et publics de la filière maritime aux sujets de la transition énergétique sur l'ensemble du territoire: conseils d'administration des fédérations professionnelles et pôles de compétitivité, dirigeants d'entreprises, directeurs de services, etc.</p> <p><u>Coût</u>: 300 k€ sur 2 ans</p> <p><u>Porteurs</u>: Etat</p>
<hr/>	
Action 5.5	<p>Mobiliser les acteurs académiques et les centres de recherche pour la réalisation et répartition des travaux de recherche sur la décarbonation du maritime</p> <p>Fédérer l'ensemble des forces académiques et centres de recherche pouvant apporter une expertise autour d'un programme commun pour lever les verrous et freins identifiés par les acteurs industriels, lancer des développements sur des technologies de rupture et répondre aux besoins des industriels pour accélérer le développement de leurs produits et services.</p> <p><u>Coût</u>: 50 à 100 M€ sur 5 ans (programme à rédiger et chiffrer précisément)</p> <p><u>Porteurs</u>: MEET2050, Laboratoires et centres de recherche publics</p>
<hr/>	
Action 5.6	<p>Plan de soutien au retrofit et au renouvellement des navires en opération</p> <p>Mettre en place un plan d'accompagnement des armateurs au retrofit ou au renouvellement de leurs navires, sur les segments de flotte et navires prioritaires vis-à-vis des émissions nationales, en veillant à la mobilisation de l'offre française. En particulier, une étude de la capacité des chantiers et équipementiers à répondre à ce plan de renouvellement devra être menée au préalable. Un soutien à la modernisation des équipements industriels pourra alors être envisagé comme sous action. Ce plan pourra comprendre des actions spécifiques comme par exemple le de soutien à l'électrification des navires dans le cadre de la connexion courant quai et s'appuiera sur les dispositifs français et européens existants ainsi que sur les crédits ETS affectés à la décarbonation du maritime.</p> <p><u>Coût</u>: étude préalable nécessaire pour le chiffrage par segment de flotte</p>

Porteurs : État, MEET2050, Armateurs, bureaux d'étude, chantiers

Action 5.7 **Adapter les modalités de financement du maritime aux enjeux de la décarbonation**

Réaliser un audit détaillé des besoins de financement des acteurs dans le cadre de la transition énergétique (type, montant) et des moyens publics (au niveau national et européen) et privés mobilisables actuellement sur les différents niveaux de maturité (de la recherche au soutien aux premières commandes). Cet audit proposera d'éventuels axes d'amélioration et d'optimisation (clarté, rapidité et modalités d'accès aux financements, effet de levier), dans la suite du rapport sur la Finance Bleue³⁵ et pourra émettre des recommandations pour trouver la meilleure adéquation possible entre les montants mobilisables, quelle que soit leur origine, et les besoins de soutien aux acteurs pour investir dans la décarbonation.

Développer une stratégie globale de financement de la décarbonation en s'appuyant sur les leviers financiers publics français et européens et privés

Coût : 75 à 200 k€ en fonction du niveau de détail souhaité

Porteurs : Etat

Action 5.8 **Rechercher un équilibre entre les recettes générées par les nouvelles réglementations et le soutien aux acteurs pour investir dans la décarbonation**

Rechercher une mobilisation optimale des revenus générés par les nouvelles réglementations européennes (pénalités FuelEU, revenus ETS, ...) afin qu'ils accompagnent le développement des solutions de décarbonation.

Porteur : État

Action 5.9 **Pérenniser et renforcer le rôle de l'institut Meet2050 dans le domaine de la décarbonation du maritime.**

Montée en puissance de l'institut qui a été créé début 2024 et sur lequel l'Etat (DGAMPA, collectivités), Armateurs de France et certains industriels et énergéticiens s'appuie.

Porteur : Etat, Armateurs, Energéticiens, Ports,...

³⁵ <https://www.mer.gouv.fr/finance-bleue-decouvrez-le-rapport>

Annexe 1 - Table des acronymes et abréviations

Acronyme ou abréviation	Signification
AMARREE	Accompagnement des marins-pêcheurs pour la réalisation d'économies d'énergie
ADEME	Agence de la Transition écologique
AFIR	Alternative Fuels Infrastructure Regulation
ACV	Analyse en cycle de vie
ADF	Armateurs de France
APER	Association pour la plaisance éco-responsable
BAU	Business As Usual
CAPEX	Capital expenditure (dépense d'investissement)
CCUS	Carbon capture use and storage
CII	Carbon Intensity Index
CITEPA	Centre technique de référence en matière de pollution atmosphérique et de changement climatique
CEE	Certificat d'économie d'énergie
CMF	Cluster Maritime Français
CO2e	CO2 équivalent
CSF	Comité stratégique de Filière (des Industriels de la Mer ou des Nouveaux Systèmes énergétiques)
CITEPA	Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique
CNUCED	Conférence des Nations unies sur le commerce et le développement
CORIMER	Conseil d'Orientation pour la Recherche et l'Innovation des industriels de la Mer
CORIMER	Conseil d'orientation pour la recherche et l'innovation des industriels de la mer
CGEDD	Conseil général à l'Environnement et au Développement durable
CNUCC	Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique
CNUCC	Convention-cadre des nations unies sur les changements climatiques
DCS	Data Collection System
CO2	Dioxyde de carbone
DGAMPA	Direction générale des Affaires maritimes, de la Pêche et de l'Aquaculture
DGE	Direction générale des Entreprises
DGITM	Direction générale des Infrastructures des Transports et de la Mer
ECA	Emission Control Area
ECA	Emissions control area

Acronyme ou abréviation	Signification
ETS	Emissions trading scheme
EMR	Energies marines renouvelables
EEDI	Energy Efficiency Design Index
EEXI	Energy Efficiency eXisting ship Index
ESD	Energy saving device
ETS	European Trade System
GES	Gaz à Effet de Serre
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
GNC	Gaz naturel comprimé
GNC	Gaz naturel comprimé
GNL	Gaz naturel liquéfié
GNL	Gaz naturel liquéfié
gCO2e/MJ	Grammes de CO2 équivalent par mégajoule
gCO2/t.km	Grammes de CO2 par tonne au kilomètre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GICAN	Groupement des Industries de Construction et Activités navales
LOM	Loi d'Orientation des Mobilités
LTECV	Loi pour la Transition énergétique et la croissance verte
MEET2050	Maritime Energy and Environmental Transition towards 2050
MWh	Mégawattheure
MRV	Monitoring – Reporting - Verifying
MRV	Monitoring, reporting and verification
OPEX	Operational expenditure (coût d'exploitation)
OMI	Organisation Maritime Internationale
OMI	Organisation maritime internationale
NOx	Oxydes d'azote
SOx	Oxydes de soufre
PME	Petite et moyenne entreprise
PAC	Pile à Combustible
PAC	Pile à combustible (PEM : pile à membrane échangeuse, SOFC : pile à combustible à oxydes solides)
PPE	Programmations Pluriannuelles de l'Énergie

Acronyme ou abréviation	Signification
RED	Renewable energy directive
ROI	Return on investment
SGPI	Secrétariat général pour les Investissements
SECTEN	Secteurs économiques et énergies
SEEMP	Ship Energy Efficiency Management Plan
SFEC	Stratégie Française pour l'Énergie et le Climat
SNBC	Stratégie nationale bas carbone
SNBC	Stratégie nationale bas carbone
SAILS	Sustainable Actions for Innovative and Low-impact Shipping
SEQE	Système d'Echange de Quotas d'Emissions
TtW	Tank-to-Wake
TAEMP	Taxe annuelle sur les engins maritimes de plaisance
TWh	Térawattheure
T2EM	Transition éco-énergétique du Maritime
TPE	Très petite entreprise
UE	Union européenne
WtW	Well-to-Wake

Annexe 2 : Mesures OMI de court et moyen terme

Mesures de court-terme

Deux volets constituent ces mesures de court-terme adoptées par l'OMI en juin 2021 :

- Le **Energy Efficiency Existing ship Index (EEXI)**, volet technique, est un indice nominal d'efficacité énergétique construit sur le même modèle que l'*Energy Efficiency Design Index (EEDI)* mais applicable aux navires existants de jauge égale ou supérieure à 400 (UMS) et non plus seulement aux navires neufs. Les facteurs de réduction imposés pour le 31 décembre 2023 par rapport à la valeur de référence (qui reflète l'efficacité énergétique nominale moyenne de chaque catégorie de navires sur la période 2000-2009) sont compris entre différents paliers allant de 0 à 50%, selon le type de navire et sa taille. Pour y parvenir, les navires peuvent avoir recours à des solutions parmi un large panel de possibilités techniques : limitation de la puissance des moteurs, optimisation de la motorisation, récupération de chaleur, optimisation des hélices, installation de systèmes d'assistance à la propulsion vélique, etc.
- Le **Carbon Intensity Indicator (CII)**, volet opérationnel, est un indicateur d'intensité carbone (émissions relatives à l'activité) applicable aux navires de jauge égale ou supérieure à 5000 (UMS). Il est calculé en divisant les émissions de gaz à effet de serre par la capacité de transport du navire et la distance parcourue sur l'année, prenant ainsi en compte les émissions réelles du navire et pas seulement son efficacité énergétique théorique (à la différence de l'EEDI et de l'EEXI). Son objectif est d'assurer que la flotte mondiale atteigne l'objectif de 40% de réduction de son intensité carbone en 2030 par rapport à 2008. Pour cela, sont imposées à chaque navire des cibles de réduction de son intensité carbone par rapport à une référence calculée en fonction de l'intensité carbone de sa catégorie en 2019 : -5% en 2023, -7% en 2024, -9% en 2025 et -11% en 2026. Les cibles pour la période 2027-2030 devront être adoptées en 2026 au plus tard, mais pour atteindre un objectif de -20% en 2030, il serait nécessaire de poursuivre un rythme de proche de -3% par an entre 2027 et 2030.

Les navires doivent planifier les mesures permettant d'atteindre la cible au sein du **Plan de rendement énergétique du navire (SEEMP)**. Selon le degré de conformité du "CII obtenu" par rapport au "CII requis" (correspondant à la cible), le navire se voit attribuer un score pouvant aller de **A** (faible intensité carbone) à **E** (forte intensité carbone), **C** étant autour de l'intensité requise.

Si le dispositif ne prévoit pour le moment pas de sanctions ou de retrait de certificat pour les navires ayant des mauvaises performances, il impose aux navires notés au mieux **D** trois années consécutives ou **E** une année de mettre en place un plan d'action correctives devant être validé par leur État du pavillon, et invite les acteurs du secteur (États, ports, institutions financières, etc.) à mettre en place des incitations pour les navires notés **A** et **B**. Enfin, la mise en œuvre du SEEMP peut faire l'objet de vérifications et audits par l'État du pavillon.

Impacts potentiels des mesures de court terme de la réglementation OMI sur la flotte nationale

Les mesures d'efficacité énergétique et d'intensité carbone auront un impact différencié selon les segments de flotte, l'exploitation des navires et leur âge. L'impact de l'EEXI est estimé relativement limité, surtout pour une flotte relativement jeune comme la flotte française. Dans son étude d'impact des mesures de court-terme, une étude du DNV estime que l'EEXI seul pourrait réduire l'intensité carbone de la flotte mondiale de 6% à 10% en 2030 par rapport à 2019, mais n'empêcherait pas une augmentation des émissions en valeur absolue (+3%) du fait des projections d'augmentation de la demande en transport maritime. Bureau Veritas estime

de son côté que 30% des navires construits à partir de 2015 devront prendre des mesures techniques pour se conformer.

L'impact du CII devrait être plus important : en exigeant des navires de réduire leur intensité carbone réelle d'au moins 2% par an, il leur impose l'application planifiée et relativement continue de solutions techniques (les mêmes que celles permettant de se conformer à l'EEXI) ou opérationnelles (réduction de vitesse, optimisation du routage, application du « juste-à-temps », etc.). Cette mesure, bien que non assortie de sanctions dures pour le moment, devrait entraîner une évolution vertueuse des pratiques. Pour la première fois dans un secteur qui s'est jusqu'à présent peu préoccupé de sobriété énergétique, elle systématise la prise en compte de l'impact climatique des navires dans la gestion technique et opérationnelle des flottes. La France ayant choisi d'appliquer les règles de l'EEXI et du CII à tous ses navires de plus de 5000 UMS, y compris ceux en navigation domestique.

Mesures de moyen et long-terme

Actuellement en cours de discussion à l'OMI, ces mesures incluront potentiellement une combinaison d'éléments technique (de type norme d'intensité carbone de l'énergie utilisée par les navires, par exemple) et économique. La France et les États membres de l'Union Européenne plaident pour une combinaison de mesures avec une mesure normative de réduction progressive de l'intensité carbone de l'énergie utilisée à bord des navires et une mesure économique de taxation des carburants fossiles. Ces mesures sont de nature à compenser en tout ou partie l'écart de prix entre carburants fossiles et carburants à émissions faibles ou nulles.

Complémentaires des mesures de court-terme, ces mesures devront enclencher la transition énergétique sur les 20 à 30 prochaines années. La France y promeut la prise en compte de l'empreinte carbone des carburants sur l'ensemble de leur cycle de vie, incluant notamment la source d'énergie primaire et les méthodes de production (approche dite en « analyse de cycle de vie »), afin d'encourager les carburants alternatifs réellement plus vertueux. L'adoption de ces mesures est attendue pour 2025 avec une entrée en vigueur des mesures en 2027.

Il convient de noter que les réglementations adoptées par l'OMI respectent en règle générale le principe de neutralité technologique, c'est-à-dire qu'elles laissent aux acteurs économiques le choix des solutions techniques ou opérationnelles pour atteindre les objectifs fixés.

Impacts potentiels des mesures de moyen terme de la réglementation OMI sur la flotte mondiale

L'étude d'impact des mesures de moyen terme sur la flotte de DNV propose plusieurs mesures de l'intensité des coûts de la flotte de navires à la suite de l'entrée en vigueur des mesures de moyen terme. L'intensité des coûts de la flotte est une mesure globale des dépenses totales engagées pour posséder, exploiter, entretenir et gérer la flotte, par rapport à son activité opérationnelle. Celle-ci devrait augmenter par rapport au scénario de *statu quo* de 16 à 47% en 2030, de 56 à 80% en 2040 et de 71 à 85% en 2050.

De nombreuses incertitudes demeurent cependant quant aux prix futurs des carburants. En utilisant la fourchette projetée des prix des carburants à partir de la littérature, l'intensité des coûts du carburant augmente par rapport au scénario de *statu quo* en 2030, de 12% à 60%. Vers 2040 et 2050, l'incertitude des prix du carburant augmente. La fourchette d'augmentation de l'intensité des coûts des carburants s'étend de 47% à 109% en 2040, et de 46% à 129% en 2050. Le coût total par tonne de gaz à effet de serre réduite, dans la fourchette projetée des prix des carburants, s'étend de 210 à 488 USD/tCO₂eq.

Annexe 3 : Paquet européen « Fit for 55 »

ETS maritime

L'extension du système d'échange de quotas d'émissions (ou ETS pour *Emissions Trading System*) européen au transport maritime. Depuis le 1^{er} janvier 2024, 100% des émissions dans les ports et des voyages intra-européens et 50% des émissions des voyages entre un port de l'UE et un port d'Etat tiers devront donner lieu à restitution des quotas correspondants. N'étant pas sujet à des risques de délocalisation, le transport maritime ne bénéficie pas de quotas gratuits, mais d'une progressivité dans la mise en œuvre initiale (seule une partie des quotas devront être restitués en 2024 et 2025). Le plafond de quotas disponibles sur l'ensemble du marché diminuera annuellement à un rythme autour de 4,2%.

Dans un premier temps, seuls les navires de jauge supérieure à 5000 (UMS) transportant des marchandises ou des passagers seront inclus. Les navires de service offshore de jauge supérieure à 5000 (UMS) seront inclus dans le MRV (le système européen de déclaration obligatoire des données d'émissions des navires, en vigueur depuis 2018) à partir de 2025, puis dans l'ETS à partir de 2027. Les navires de service offshore entre 400 et 5000 UMS, ainsi que les navires pour marchandises diverses ("*general cargo ships*"), seront inclus dans le MRV à partir de 2025. L'inclusion des autres catégories de navires entre 400 et 5000 (UMS) dans le MRV sera examinées en 2024. L'éventuelle inclusion des navires entre 400 et 5000 (UMS) dans l'ETS sera examinée avant le 31 décembre 2026. Les navires de pêche, de plaisance, de service public, et militaires sont exclus.

En plus du CO₂ (déjà inclus dans le MRV), les émissions de méthane et de protoxyde d'azote sont incluses dans le MRV à partir de 2024 et dans l'ETS dès 2026. A noter que seront exemptées de l'obligation de restitution des quotas les émissions correspondant à la desserte des outre-mer (pour tous navires) ainsi qu'au surplus d'énergie requis par les navires « classe glace » (rabais de 5%). La mesure comporte une clause de révision de tout le dispositif pour tenir compte de l'éventuelle adoption d'ici 2028 par l'OMI d'une mesure de marché.

Le secteur maritime devient explicitement bénéficiaire du Fonds d'Innovation européen. La Commission européenne devra lors de ses appels à projet apporter une "attention spéciale" aux projets contribuant à la décarbonation du transport maritime et inclure des thèmes dédiés à cette dernière. Elle s'est également engagée à ce que les revenus résultant de la vente de 20 millions de quotas d'ici 2030 y soient dédiés. Les projets candidats au fonds d'innovation européen devront avoir une « valeur ajoutée européenne claire ».

Plus d'informations sont disponible sur la page officielle du ministère chargé de la mer (<https://www.mer.gouv.fr/marche-carbone-europeen-ets-transport-maritime>).

FuelEU Maritime

En complément de l'ETS, qui permet de réduire l'écart de prix entre les combustibles fossiles et les combustibles bas carbone, le **règlement « FuelEU Maritime »** vise à stimuler l'adoption de carburants maritimes durables par les navires, à travers l'adoption de cibles obligatoires d'intensité carbone décroissantes de 2025 à 2050.

Les cibles de réduction, prenant en compte l'ensemble du cycle de vie des carburants (du « puits au sillage »), se situent à -2% en 2025, -6% en 2030, -14.5 en 2035, -31% en 2040, -62% en 2045 et -80% en 2050. Le règlement prévoit également des obligations de branchement à quai à partir de 2030 pour les navires à passagers et porte-conteneurs dans les ports européens ciblés par l'article 9 du règlement AFIR (voir paragraphe ci-dessous).

AFIR

Le projet de règlement sur le déploiement d'une **infrastructure pour carburants alternatifs (AFIR)** devrait comporter, en complément de FuelEU Maritime, une obligation de fourniture de branchement électrique des navires à passagers et porte-conteneurs dans les principaux ports du réseau européen de transport à partir de 2030, ainsi qu'une obligation pour les Etats Membres de mettre en place un plan de développement des infrastructures pour carburants marins alternatifs dans leurs ports.

Directive RED 3

La directive révisée relative à la **promotion des énergies renouvelables (RED 3)** encourage l'utilisation de biocarburants avancés et fixe des objectifs en réduction de gaz à effet de serre pour l'ensemble du secteur des transports. Elle prévoit notamment un mandat « incitatif » pour les carburants maritimes en son article 25-1-3, selon lequel les Etats membres devraient s'efforcer d'atteindre 1,2% de carburants de synthèse dans le mix mis à la consommation en 2030.

Impacts potentiels de la réglementation Fit For 55 sur la flotte nationale

Les implications techniques et économiques du paquet FF55 sur la flotte nationale seront nombreuses et variées selon le segment retenu et l'activité opérée. Il est complexe de les modéliser mais plusieurs éléments peuvent être soulignés.

S'agissant de l'impact de l'ETS maritime, le prix moyen du quota pour l'année 2023 est de 85€, avec une certaine stabilité en comparant avec un prix de 81€ en moyenne pour l'année 2022. Ce prix du carbone représentera à la fois une charge pour les compagnies maritimes, qui bénéficiaient jusque-là d'une absence de taxe sur les combustibles et une opportunité pour celles qui progresseront sur la décarbonation de leurs navires en avance de phase. Un temps d'adaptation est prévu grâce au phasage progressif (*phase-in*) qui prévoit une intégration progressive du marché (40% des émissions vérifiées en 2024, 70% en 2025 et 100% à partir de 2026).

Parallèlement, l'atteinte des cibles de réduction de l'intensité carbone prévues par le règlement FuelEU Maritime devrait favoriser une sortie progressive des carburants fossiles. Or, les intervalles de prix attendus en 2030 pour les carburants alternatifs sont tous supérieurs à ceux du fioul lourd (autour de 15€/GJ), à l'exception du GNL. Ils s'établissent entre 25 et 65 €/GJ pour l'ammoniac vert, 15 et 35€/GJ pour le biodiésel, 25 et 50 €/GJ pour le bio-GNL.

Annexe 4 : Présentation détaillée des leviers de décarbonation

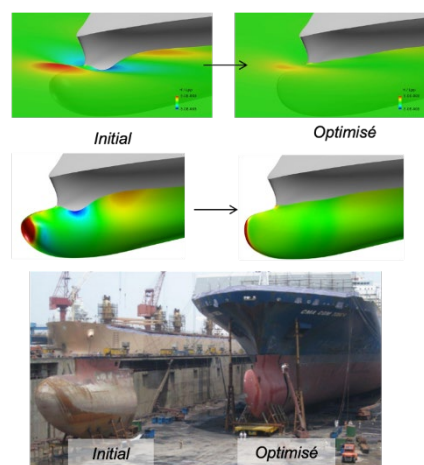
1. Efficacité énergétique pour réduire la consommation et les émissions

Plusieurs solutions permettent d'optimiser l'efficacité énergétique des navires au stade de la conception. Les navires n'étant de manière générale pas construits en série, à l'exception des unités de plaisance, des études spécifiques doivent être menées sur chaque navire pour en améliorer le design et l'efficacité énergétique globale. Ces améliorations permettent de gagner en moyenne de 5 à 15% d'efficacité, notamment en adaptant le design au profil opérationnel du navire.

Levier 1.1: réduction de la traînée des navires

La réduction de la traînée consiste à optimiser la forme du navire pour minimiser la résistance de vague et de frottement du navire.

Elle implique des calculs complexes via des outils numériques et parfois des vérifications en bassin de carène. Les études peuvent concerner la forme générale du navire ou des parties spécifiques (bulbe, voûte, appendices), selon différents profils opérationnels, qu'il s'agisse de constructions neuves ou en rétrofit. Certaines techniques innovantes contribuent aussi à réduire les frottements comme l'injection d'air sous la carène ou l'usage de certains revêtements de surface.



Gains de l'ordre de 10% sur la consommation

Crédits : HydrOcean / CMA-CGM

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Applicable sur tous les navires et segments de flotte, en rétrofit et en constructions neuves ; • Gains significatifs de 5 à 20% sur la consommation et les émissions • Solution mature et prouvée par de nombreux retours d'expérience très positifs • ROI immédiat en construction neuve et rapide (1 à 3 ans sur les grands navires) en rétrofit 	<ul style="list-style-type: none"> • Temps restreint alloué à la phase de conception du navire • Études encore vues comme un coût additionnel malgré le ROI significatif • Mesures OMI non applicables aux plus petits navires • Nécessité d'un arrêt technique dans le cas d'un rétrofit • Difficulté d'avoir des données fiables et précises sur les profils opérationnels réels des navires, point d'entrée des études d'optimisation • Modification des missions de certains navires qui rendent difficiles les optimisations trop spécifiques, notamment dans l'objectif de garder une polyvalence (en vue de la revente du navire)

Levier 1.2 : amélioration du rendement propulsif

L'amélioration du rendement propulsif d'un navire consiste à optimiser l'ensemble de la chaîne propulsive du navire (de la commande moteur à l'hélice). Les solutions peuvent être :

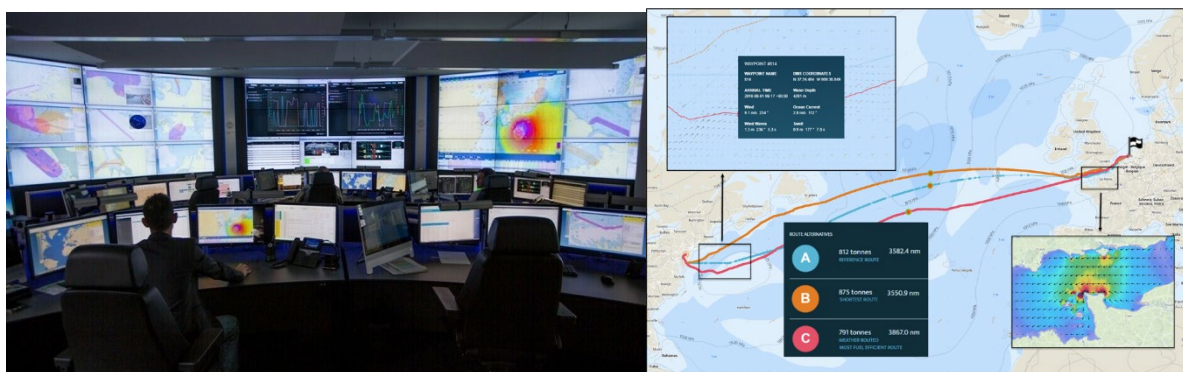
- L'optimisation du rendement des propulseurs : formes optimisées, adaptation puissance / cavitation / bruit rayonné, utilisation de matériaux composites et déformables ;
- L'intégration de propulseurs innovants pouvant être inspirés du biomimétisme ;
- L'optimisation de l'intégration carène / appendices / propulseur : propulseurs carénés, sillage / succion, tunnels et voûtes arrière optimisées ;
- Le développement de systèmes Energy Saving Device (ESD) pour améliorer les rendements propulsifs.

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none">• Optimisation en construction neuve et en retrofit pour l'adaptation à de nouveaux points de fonctionnement du navire• ROI immédiat en construction neuve et rapide (1 à 3 ans pour les grands navires) en retrofit• Fiabilité des outils de conception et d'évaluation numérique• Gains de 3 à 10%• Innovations de ruptures en développement faisant notamment appel au biomimétisme avec de meilleurs rendements	<ul style="list-style-type: none">• Temps restreint alloué à l'optimisation des performances propulsives dans la phase de conception• Études encore vues comme un coût additionnel malgré le ROI• Nécessite une étude technique approfondie sur la base du profil opérationnel du navire ;• Coût élevé des propulseurs les plus performants (entre 5 et 25% du coût du navire selon le type)• Nécessité de passage à l'échelle et d'augmentation de puissance pour les propulseurs innovants basés sur le biomimétisme

Levier 1.3 : amélioration de l'efficacité énergétique des équipements des navires

Il s'agit d'optimiser l'ensemble de l'énergie consommée à bord sur un profil de navire et d'exploitation donnée afin d'éviter des consommations superflues ou redondantes. Les solutions peuvent être notamment :

- La récupération de chaleur ou de froid pour une utilisation à bord ;
- L'optimisation de l'usage moteur principal par rapport à celui des auxiliaires ainsi que des points de fonctionnement ;
- Le dimensionnement optimal de la puissance (*sea margin*) ;
- L'amélioration de l'efficacité des équipements de pont, équipements de pêche et divers appareils ;
- L'optimisation des dépenses énergétiques à bord : ampoules, climatisation, chauffage.



Exemple d'un centre de contrôle de navire et d'un logiciel de routage (Crédit Marine Traffic)

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Installation possible sur tous les navires • Facilité de mise en place à l'aide d'études au stade du design ou en retrofit • Coût réduit et gains en consommation assurés 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite des outils de modélisation énergétique et de monitoring du navire encore en développement ou pas encore totalement validés • Optimisations très dépendantes du profil opérationnel du navire, amené à varier au cours de sa durée de vie

Levier 1.4 : Excellence opérationnelle

Les mesures d'excellence opérationnelle regroupent l'ensemble des actions permettant d'optimiser la consommation du navire existant en exploitation et dans son interaction avec son environnement : outils d'aide à la décision et à l'écoconduite, routage intégrant les conditions météorologiques (vent, houle, courant), optimisation des interactions avec la terre pour réduire les vitesses de transit (arrivée « juste à temps », réduction des temps d'escale, etc.), monitoring de performance pour identifier les surconsommations, formation des équipages.

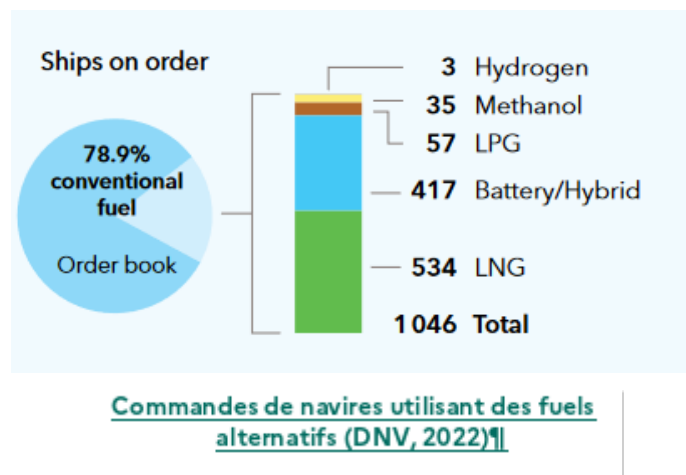
Ces mesures, qui contribuent à l'efficacité énergétique du navire dans sa phase opérationnelle, sont insuffisamment déployées.

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Gains significatifs apportés par la meilleure compréhension du fonctionnement des navires • Solutions, pour certaines, simples à mettre en œuvre, sans modifications significatives du navire • Des outils numériques toujours plus performants (routage par exemple) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bande passante pour les communications satellites navires / terre • Standards et qualité des données • Propriété des données discutée entre les équipementiers, les chantiers et les armateurs • Faible culture technique de certains opérateurs de navires • Partage des investissements et bénéfices entre armateurs et affrêteurs

2. Energies et infrastructures

Le recours progressif à des énergies dont l'empreinte carbone est réduite, sur l'ensemble du cycle de vie, est une solution indispensable pour décarboner le secteur. Aujourd'hui, la quasi-

totalité des navires utilise des combustibles fossiles, mais, peu à peu, des armateurs optent pour des navires compatibles avec des carburants alternatifs (21% des commandes de navires neufs d'après le DNV).



Sous le terme de carburants alternatifs se cache en réalité une diversité de solutions qui peuvent être regroupées en grandes catégories : le gaz naturel liquéfié (GNL), les biocarburants, les e-carburants, les batteries. Par ailleurs, les systèmes de capture et de stockage de CO₂ (CCS) et de propulsion vélique peuvent compléter les équipements des navires et réduire leur empreinte carbone.

Au niveau national, l'énergie soutée dans les ports français est d'environ 30 TWh d'énergie fossile. La conversion de ces 30 TWh en d'autres formes d'énergie décarbonées, impliquerait de disposer aujourd'hui de l'énergie équivalente en biocarburants, ou l'équivalent de 60 à 120 TWh d'électricité pour produire des e-carburants compte tenu des rendements énergétiques inhérents à chaque phase de transformation, de l'ordre de 12 à 25%. La disponibilité des énergies pour la décarbonation est donc un sujet majeur.

Levier 2.1 : L'usage d'énergie fossile moins carbonée et transitoire (GNL)

Le Gaz naturel liquéfié est un mélange gazeux d'hydrocarbure d'origine fossile composé majoritairement de méthane. Transporté sous forme liquéfiée (température cryogénique de -161°) dans des navires méthaniers, il est utilisé sur ces navires comme carburant depuis les années 1960-1970, ce qui en fait une technologie mature. Permettant également de satisfaire aux contraintes liées aux réglementations en matière de pollution atmosphérique, notamment dans les zones de contrôle des émissions (zones ECA au sens de l'OMI), le GNL est adopté peu à peu sur les constructions neuves de navires de charge et navires à passagers, qui ne peuvent être décarbonés uniquement par les vecteurs électricité et hydrogène.

L'abattement d'émissions de gaz à effet de serre du GNL est limité compte tenu de son origine fossile et des émissions fugitives de méthane (dont le pouvoir réchauffant est 28 fois supérieur au CO₂ à 100 ans) provoquées par son utilisation, le GNL ne peut donc être vu que comme une énergie de transition vers le bioGNL et vers le e-méthane qui offre l'avantage sur les autres formes d'énergies d'une transition progressive et pilotable.

Pour les plus petits navires, tels que les navires de pêche, le gaz naturel comprimé (GNC et ses dérivés en bio et e-carburants) peut s'avérer pertinent.

Par ailleurs, la pyrolyse du gaz naturel à bord des navires, procédé qui transforme directement le gaz en hydrogène et en carbone solide, est en cours de développement pour le maritime.

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration de la qualité de l'air : réduction des émissions de SOx, NOx et de particules fines • Chaîne d'approvisionnement mature, infrastructure croissante dans les principaux ports de ravitaillement • Réglementation internationale déjà existante pour l'usage du GNL à bord des navires • Réduction des émissions de CO2 jusqu'à 17% selon le type de motorisation et l'origine du GNL (+6% à -17% dans le projet de règlement FuelEU) • Densité énergétique intéressante comparativement aux autres fuels alternatifs • Possibilité de passer progressivement au bioGNL et au e-GNL sans modification du design des navires et des infrastructures 	<ul style="list-style-type: none"> • Énergie fossile • Fuites fugitives de méthane pouvant amener à une augmentation jusqu'à 6% des émissions de GES (par rapport au fuel lourd d'après FuelEU). • Usage limité à des navires de taille significative (>100m) • Nécessite une formation professionnelle de l'équipage pour maîtriser le combustible cryogénique à bord

Levier 2.2 : Les biocarburants

Les biocarburants liquides représentent une gamme très variée de carburants alternatifs produits à partir de biomasse issue de ressources à usage alimentaire (huiles végétales, plantes sucrières, céréales ...) pour les carburants dits de première génération, et de ressources lignocellulosiques (bois, feuilles, pailles, etc.) pour les carburants de seconde génération. Certains biocarburants sont déjà utilisés depuis longtemps pour la mobilité routière, mais leur usage dans le maritime reste embryonnaire.

Autre type de biocarburant, le biométhane est un gaz 100% renouvelable produit à partir de déchets issus de l'industrie agroalimentaire, de la restauration collective, de déchets agricoles et ménagers, ou encore de boues de stations d'épuration. Ce biogaz épuré a les mêmes propriétés que le gaz naturel, et donc les mêmes usages. Il peut ensuite être liquéfié pour faire du bioGNL et remplacer du GNL fossile.

Relativement simples à utiliser et disponibles dès à présent, les biocarburants ont des pouvoirs de réduction des émissions de gaz à effet de serre variables selon leur origine et leur niveau d'incorporation. La disponibilité des stocks, compte tenu des besoins à venir, est un enjeu majeur. Leur prix est globalement plus élevé que les carburants fossiles.

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Carburants déjà disponibles dans certains ports • Solution « drop-in », les biocarburants peuvent être incorporés directement dans les soutes des navires, en mélange 	<ul style="list-style-type: none"> • Stocks limités et compétitions d'usage avec d'autres secteurs (dont l'aérien) • Réductions des émissions variables selon les biocarburants

<p>aux carburants fossiles, sans rétrofit majeur (besoin parfois d'adaptateur les réglages moteur)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Densité énergétique similaire à celle des combustibles fossiles 	<ul style="list-style-type: none"> • Travaux de recherche nécessaires pour permettre le passage à plus grande échelle, et pour développer des biocarburants de troisième génération (à partir d'algues marines) • Émissions de NOx de ces biocarburants à maîtriser
--	---

Levier 2.3 : Les électro-carburants (e-carburants)

Les e-carburants sont une classe de carburants fabriqués à partir d'électricité. Ils peuvent représenter une solution neutre en matière de gaz à effet de serre à condition que les étapes nécessaires à leur production, notamment l'électricité utilisée, le soient aussi. Avec les biocarburants, il s'agit des deux solutions majeures pour satisfaire à terme les besoins énergétiques du secteur maritime.

La production d'e-carburants nécessite d'énormes quantités d'énergie, compte tenu des rendements faibles. Leur production passe par une étape de production d'hydrogène, lui-même pouvant être produit par électrolyse de l'eau (pour assurer son caractère décarboné), cet hydrogène pouvant ensuite être transformé en d'autres molécules par différents processus chimiques.

Plusieurs e-carburants sont envisagés pour satisfaire les besoins du maritime, sans qu'il ne soit possible de déterminer aujourd'hui si l'un d'entre eux émergera plus qu'un autre. Les principaux sont les suivants :

- Le **e-hydrogène**, produit par électrolyse de l'eau et pouvant ensuite être utilisé dans une pile à combustible voire, dans certains cas, dans un moteur à combustion. Du fait de sa faible densité énergétique par unité de volume, l'hydrogène doit être comprimé à très haute pression (de 300 à 700 bars) voire même liquéfié à environ -252°C. Son utilisation restera limitée à certains types de navires en capacité de s'avitailer fréquemment. La durée de vie limitée des piles à combustible et leur coût sont également une contrainte.



Energy Observer 2 - navires de charge polyvalent et électrique alimenté par de l'hydrogène liquide (crédits : Kader Boucher / Epron Design)

- Le **e-méthane**, produit via le procédé Fischer-Tropsch, pouvant ensuite être liquéfié et donner du e-GNL. Ce dernier pourra remplacer directement le GNL fossile utilisé dans les navires construits pour cette énergie.



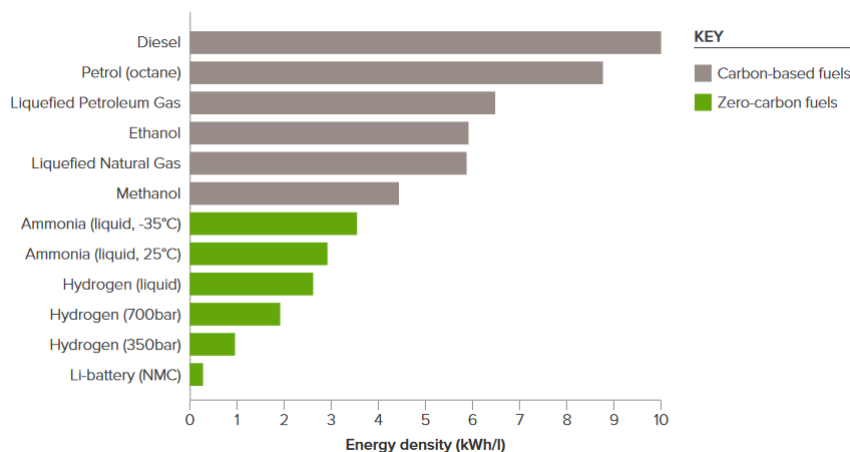
Projet Jupiter 1000, démonstrateur industriel de Power-to-Gas (Crédit Jupiter 1000)

- Le **e-méthanol** dont la production est déjà industrialisée, notamment pour l'industrie chimique. Ce carburant est liquide à température ambiante ce qui facilite sa manipulation et son soutage, il pourrait notamment être utilisé en retrofit de navires existants. Des navires-citernes fonctionnant et transportant du méthanol sont déjà en opération, et des premiers navires – hors navires-citernes – utilisant le méthanol comme carburant seront en opération dès 2025-2026. Certains armateurs de porte-conteneurs misent notamment sur cette technologie.
- Le **e-ammoniac**, lui aussi produit en grande quantité pour des besoins industriels (industrie des engrais, explosifs) selon le procédé de Haber-Bosch. Moins mature que les deux e-carburants précédents pour un usage maritime, l'ammoniac présente l'intérêt majeur d'être dépourvu de chaîne carbonée et ainsi de ne pas émettre de CO₂ à sa combustion. De gros efforts de R&D sont néanmoins nécessaires pour permettre son exploitation de manière sûre, l'ammoniac étant hautement toxique.

Le prix des e-carburants, dont la production est quasi nulle à ce jour hormis pour la mobilité lourde, dépendrait grandement des prix de l'électricité. On peut estimer qu'à terme et hors mécanisme de taxe carbone, les e-carburants seront entre trois et quatre fois plus chers que leurs équivalents fossiles. Il faut ajouter à ce prix les investissements nécessaires en infrastructures et les surcoûts des navires dont le design est différent des navires conventionnels.

Les e-carburants présentent des propriétés physiques différentes entre eux. En particulier, leur densité énergétique par unité de volume varie considérablement, avec des conséquences directes sur l'encombrement dans les soutes du navire et donc la charge utile de ce dernier.

The volumetric energy density of a range of fuel options.



Densité énergétique des carburants marins, sans prise en compte des cuves de stockage³⁶

Autre point d'attention, les e-carburants comportant du carbone, notamment les e-méthane et e-méthanol, doivent, pour leur production, disposer d'une source de carbone, CO₂ ou CO. Plusieurs technologies sont envisagées pour disposer de CO₂ sachant que la réglementation européenne RED 3 pourrait contraindre le recours à certaines sources. Le CO₂ biogénique, issu par exemple de la production de biométhane, est particulièrement vertueux dans un bilan carbone, en particulier lorsque le couplage à une unité de méthanisation permet de doubler la production de gaz pour une même quantité de biomasses en entrée.

³⁶ <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/green-ammonia/green-ammonia-policy-briefing.pdf>

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Potentiel de réduction de gaz à effet de serre très important • Amélioration de la qualité de l'air : réduction des émissions de SOx, NOx (hors ammoniac pour lequel il y a des risques d'émissions résiduelles de NOx) et de particules fines • Diversité de e-carburants permettant de répondre à différents usages et contraintes d'exploitation 	<ul style="list-style-type: none"> • Gros besoins en électricité renouvelable ou bas carbone du fait des rendements faibles • Économie industrielle à construire, avec des investissements lourds pour les infrastructures de production et de distribution (notamment portuaires) • Source de CO2 pour produire les e-carburants carbonés • Propriété de certains e-carburants à risque, notamment l'e-ammoniac et l'hydrogène • Moindre densité énergétique que les combustibles fossiles • Design des navires à adapter • Abaissement de la signature carbone non reconnue du fait de la non-prise en compte d'analyse de cycle de vie des carburants marins par l'OMI à ce jour (travaux en cours) • Formation des équipages pour ces nouveaux carburants • Foncier limité dans les zones portuaires

Levier 2.4 : La capture du CO2 à bord

La capture à bord du CO2 émit sur un navire, et sa séquestration ultérieure permettrait de réduire la teneur en carbone des émissions des navires utilisant un carburant carboné. La technologie est déjà relativement mature à terre et déployée sur certains sites industriels. Elle nécessite encore des efforts de R&D et la mise en place de démonstrateurs en conditions marines.

Son déploiement peut être envisagé sur les plus gros navires, mais reste coûteux.

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Technologie pouvant venir en complément des fuels alternatifs • Pertinent pour les navires disposant de source froide à bord tels que les navires au GNL, pour liquéfier le CO2 et le stocker • Nouveau marché potentiel pour les ports français 	<ul style="list-style-type: none"> • Nombreuses modifications nécessaires pour un retrofit de navire existant • Encombrement lié aux systèmes de captage et de stockage du CO2 à bord • Processus qui requiert de l'énergie à bord • Incertitudes réglementaires sur la nature du CO2

Levier 2.5 : Hybridation et électrification du navire et des quais

Comme dans d'autres mobilités, l'électrification des modes de propulsion se déploie progressivement sur les navires. Les plus petits d'entre eux, à l'image des navires aquacoles ou de plaisance, peuvent déjà opter pour une propulsion électrique alimentée par des batteries. C'est aussi une option intéressante pour des petits navires à passagers ou de servitude, en fluvial ou eaux abritées, qui bénéficient de capacité de recharge à quai et n'ont pas des besoins d'autonomie élevés. Sur les plus grands navires, ces applications restent limitées à quelques usages spécifiques, comme l'électrification des auxiliaires qui peut représenter jusqu'à 20% de la consommation énergétique du navire, ou pour des ferrys assurant de courtes traversées et pouvant se recharger souvent à quai.

Autre option, l'hybridation électrique de la propulsion décorrèle la génération d'énergie à bord et le pilotage électrique de la propulsion en s'appuyant sur du stockage d'électricité à bord avec des avantages pour le dimensionnement des systèmes, leur efficacité et leur capacité d'évolution technologique. Elle adresse un marché plus large, allant des navires de maintenance en mer aux navires à passagers, à certains navires de pêche et plus généralement à tout navire par exemple lors de sa phase d'approche en zone portuaire.

L'électrification des quais est une condition nécessaire au développement de la propulsion électrique, tant pour la réduction des émissions à quai que pour le rechargement des batteries. Un certain nombre d'infrastructures existent déjà dans les ports européens et français pour que les navires se raccordent à quai pendant leurs escales. Cependant, compte tenu des exigences européennes du règlement AFIR³⁷ et avec le développement à venir de l'électrification des navires, le déploiement d'infrastructures de raccordement devrait s'accélérer.

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Absence d'émission directe du navire • Réduction des nuisances sonores • Technologie batterie déjà mature avec une bonne efficacité énergétique • Pertinent pour les faibles puissances (plaisance, pêche) mais aussi les plus grosses puissances à condition d'avoir des rotations courtes • Possibilité d'hybridation avec un moteur thermique par exemple • Réduction des émissions de GES et de polluants, notamment dans les ports • Découplage génération d'énergie à bord, stockage et propulsion : adaptation à des variations de charge et fonctionnement optimisé de chacune des briques • Capacité de rétrofit de la génération d'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> • L'efficacité dépend du mix énergétique utilisé pour produire l'énergie électrique utilisée à bord • Encombrement important. Pas une option pour une propulsion sur de longues distances • Risque d'incendies lié aux batteries • Coût des infrastructures d'électrification pour les ports pour le branchement et la recharge



Barge ostréicole électrique François Cadoret



Navire Commandant Charcot, doté de 4520 kWh de batteries

³⁷ Alternative Fuels Infrastructure Regulation, cf Annexe 3

Levier 2.6 : Propulsion nucléaire

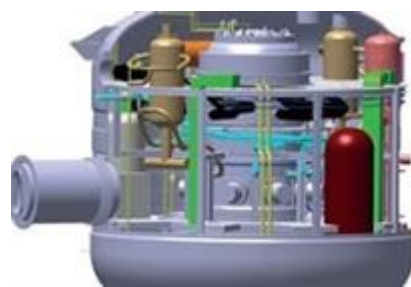
Le secteur du transport maritime est à l'aube d'un changement révolutionnaire vers l'énergie propre, l'énergie nucléaire peut apparaître comme l'une des alternatives aux combustibles fossiles traditionnels.

Aujourd'hui la propulsion des navires nucléaires est prévue par le chapitre VIII de la convention SOLAS, texte complété par la résolution A.491.12 constituant le code pour la sécurité des navires marchands utilisant cette énergie. Depuis cette résolution ratifiée par la France en 1981 le corpus réglementaire qui traite essentiellement de la technologie à eau pressurisée n'a pas évolué. Encore aujourd'hui, aucune autre technologie n'a fourni de démonstration qu'elle supporterait l'ensemble des agressions du milieu maritime (mouvements de plateforme, vibrations, + toutes les agressions de type collision, chocs etc.) en restant capable de fonctionner en toute sécurité.

Si quelques navires nucléaires ont vu le jour à travers le Monde depuis les années 60, ils appartenaient tous à des structures étatiques et n'ont pas vraiment réalisé de voyages commerciaux internationaux (brise-glaces, navires expérimentaux ou navires de recherche). Des navires marchands détenus par des intérêts privés et susceptibles d'être revendus, exploités par des équipages multinationaux et enfin démantelés, ouvriraient la porte d'une nouvelle approche pour ce secteur.

Si le nucléaire a le potentiel de fournir une source d'énergie fiable et à haute densité qui pourrait réduire de manière significative l'empreinte carbone des activités de transport maritime ou de centrale électriques flottantes (Offshore Floating Nuclear Plant « OFNP »), il n'en demeura pas moins que des obstacles considérables s'opposent actuellement à l'adoption de l'énergie nucléaire dans le secteur du transport maritime. En effet, d'un point de vue de la pérennité du modèle économique, plusieurs considérations sont à prendre impérativement en compte, notamment les défis liés à la sûreté nucléaire, la qualification des équipages, la gestion des déchets radioactifs, les coûts de construction, d'entretien et de démantèlement de tels navires.

Bien que l'essor des technologies de mini réacteurs expérimentaux (Small Modular Reactor - SMR) et leur éventuelle transposition au transport maritime commercial peut laisser entrevoir de nouvelles possibilités, de nombreux obstacles réglementaires devront toutefois être surmontés. De ce point de vue une révision des textes de l'OMI semble indispensable alors qu'à ce jour ce sujet n'est pas inscrit à l'ordre du jour de l'Organisation.



Vue, en image de synthèse, du principe du réacteur SMR étudié par le consortium Nuward. © Nuward Consortium (Source CEA)

Si aucune solution technologique permettant de décarboner ne doit être écartée, la mise en œuvre de systèmes de propulsion nucléaire sur des navires de commerce impliquerait des efforts importants de la part des acteurs publiques et industriels qui devront se poursuivre dans le temps long. Un tel développement devrait également s'appuyer sur l'important retour d'expérience de l'industrie navale militaire, qui intègre des réacteurs nucléaires pour la propulsion de bâtiments militaires depuis plusieurs décennies. Il semble donc nécessaire d'évaluer soigneusement grâce à des études les avantages et les inconvénients, au regard de l'objectif à atteindre avant de prendre toute décision d'investissement dans ce domaine.

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Zéro émission • Technologie Eau pressurisée maîtrisée par la France et maîtrisé • Excellent rapport entre compacité (grâce aux SMR) et puissance délivré 	<ul style="list-style-type: none"> • Réservé à des grands navires avec une puissance d'au moins 20 000 à 40 000 kW • SMR n'ont pas démontré leur fiabilité en mer • Difficulté d'assurer un environnement de sûreté dans la logique actuelle de l'exploitation des navires marchands • Coûts de construction, d'exploitation & maintenance, et de démantèlement • A priori, faible acceptabilité du nucléaire

Levier 2.7 : La propulsion par le vent et les autres énergies renouvelables

Le vent est une énergie renouvelable, gratuite et abondante en mer, notamment dans certaines zones géographiques. Son exploitation directe à bord des navires à l'aide de systèmes de propulsion dédiés (voiles, ailes rigides, rotors, kites, etc.) permet de réduire significativement le recours à d'autres formes d'énergies. L'énergie éolienne peut ainsi être utilisée en assistance à une propulsion principale, sur des navires neufs ou en retrofit de navires existants, ou sur certaines lignes particulières en propulsion principale.



Exemple de systèmes de propulsion par le vent en cours de développement

(crédits Ayro et Airseas)

La propulsion par le vent fait l'objet de nombreuses propositions et brevets d'innovation dans la sphère nationale, l'industrialisation des équipements et de leur intégration pour son déploiement à grande échelle sur des navires commerciaux reste encore à accélérer.

D'autres énergies renouvelables peuvent dans certains cas être exploitées à bord des navires, en particulier le photovoltaïque et l'énergie hydrolienne.

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Énergie gratuite à son point d'utilisation à bord • Aucune transformation, transport, stockage à terre • Aucun soutage, stockage à bord • Routage disponible pour optimiser l'usage et l'hybridation avec un autre mode de propulsion • Disponible en abondance y compris dans les pays et îles ayant un moindre accès aux carburants • Énergie sans compétition d'usage avec d'autres industries et compatible avec les modes de propulsion • Industrie française innovante dans ce domaine 	<ul style="list-style-type: none"> • Efficace pour des vitesses de navire réduites • Adapté à certaines lignes maritimes et moins à d'autres (faiblesse du vent) • Performance et fiabilité des équipements véliques de nouvelle génération qui vont devoir démontrer leur durabilité et efficacité avec leur utilisation à bord • Nécessite une adaptation de la carène et ses appendices pour remonter au vent efficacement • Impact sur le pont de chargement, la stabilité et la visibilité depuis passerelle • Pour de forts gains d'efficacité énergétique, l'ensemble du design doit être pensé pour intégrer la propulsion par le vent et l'hybridation des moyens de propulsion

3. Sobriété opérationnelle et de conception pour réduire les émissions en phase d'exploitation et tout au long de la chaîne de valeur

Levier 3.1 : Sobriété opérationnelle - baisse des vitesses

La sobriété opérationnelle du transport maritime est une mesure complémentaire pour réduire les émissions de GES sur certains segments de flotte. Actionner ce levier, simple technologiquement parlant, n'est toujours pas sans poser de difficulté.

La principale mesure identifiée concerne la baisse de vitesse des navires, la consommation de carburant étant fonction du cube de la vitesse. Cette pratique est, dans les faits, déjà répandue et a été portée par la France à l'OMI. Elle est aussi reprise dans la charte SAILS signée par plusieurs compagnies maritimes françaises. Toutefois, une baisse trop importante de la vitesse des navires de commerce impliquerait une baisse des volumes transportés et, potentiellement, un besoin accru en nouveaux navires pour assurer les échanges maritimes.

La baisse des volumes transportés et donc des échanges internationaux n'est à ce jour que peu crédible. Dans son rapport annuel publié le 29 novembre 2022, la Conférence des Nations unies sur le commerce et le développement (CNUCED) pronostique une hausse annuelle des échanges maritimes mondiaux ramenée à 2,1 % par an dans les cinq prochaines années en dépit de la hausse des coûts de l'énergie.

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Simple à mettre en place d'un point de vue technique • Solution efficace si la baisse de vitesse est raisonnée (jusqu'à 30% selon les types de flotte) • La baisse de vitesse rend la propulsion par le vent plus attractive 	<ul style="list-style-type: none"> • Impact sur l'activité économique des exploitants, • Peu de marge de manœuvre sur certains segments de flotte (ex : horaires à tenir pour des ferrys) • Compensation potentiellement par l'introduction de navires supplémentaires, réduisant significativement les gains attendus

	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de report modal vers des modes de transport moins efficaces énergétiquement parlant, mais plus rapides
--	---

Levier 3.2 : Écoconception, processus de fabrication et fin de vie pour réduire l’empreinte carbone de la construction et du démantèlement

L’étape préalable pour appréhender ce levier, souvent peu pris en compte dans les réglementations internationales et peu documenté, consiste à s’accorder sur un référentiel de comptabilité carbone pour mener des analyses en cycle de vie (ACV) et à démocratiser son usage. La consolidation des principales données d’inventaire (énergies, matériaux, etc.) spécifiques aux domaines navals, fluviaux et nautiques (profils d’émissions moteurs, matériaux composites, process de soudure, etc.) est nécessaire pour engager une démarche d’écoconception.

L’écoconception implique ensuite de trouver les moyens incitatifs pour que les constructeurs et armateurs s’orientent vers des navires à empreinte carbone la plus réduite possible sur l’ensemble du cycle de vie des navires. Cette approche fait apparaître le poids des intrants matériaux, notamment l’acier, l’aluminium et le composite qui peuvent représenter jusqu’à 90 % de l’empreinte carbone de production. La transition des filières amont doit être réalisée en maintenant la compétitivité des filières aval européennes.

Les chantiers français cherchent à intégrer les contraintes liées à la fin de vie des navires dès leur conception. Le secteur de la plaisance a déjà initié des développements pour recourir à des matériaux plus respectueux de l’environnement et plus faciles à recycler (ex : recours à la fibre de lin en remplacement de la fibre de carbone, et à la résine recyclable).

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Des solutions techniques pour certaines déjà matures • Premières analyses de cycle de vie effectuées par des acteurs de référence • Obligations réglementaires sur la fin de vie des navires • Existence de l’éco-organisme national APER agréé par le ministère de la Transition écologique pour gérer la déconstruction et le recyclage des bateaux de plaisance et de sport en fin de vie. • Quatre installations de recyclage de navires agréées par l’Union européenne situées en France • Capacité industrielle française et savoir-faire des acteurs français 	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de méthodologie ACV partagée et manque de données pour fixer un cadre de référence • Critères de performance environnementale sur l’ensemble du cycle de vie non pris en compte par le marché et la réglementation • Mécanisme d’ajustement carbone aux frontières européen qui renchérit l’accès aux matières premières pour les industriels européens, mais n’inclut pas les produits finis • Réglementation contraignante d’approbation des matériaux qui ne facilite pas l’innovation.

Annexe 5 – Scénario de décarbonation de référence – Meet 2050

Nom du Scénario : **Nouveau scénario de référence (S3 révisé)** Date production : 16/05/2023 Version du modèle : V.1.1 - 17/05/2023
 Avec conservation des volumes transportés avec baisse de vitesse et perte de capacités liés au changement d'énergie

Synthèse des principaux paramètres du modèle

Energie initiale consommée WTW (TWh)	27,7	Nb de navires	600
Croissance flotte / énergie	1,5%	Puissance moy. (MW)	4,2
Durée de vie moyenne navires (années)	25	% Flotte concernée par retrofits	
Date moyenne d'introduction e-fuel	2030	Hydrodynamique	50,0%
Durée déploiement moyenne e-fuel (années)	11	Vélique	25,0%
		Capture de carbone	10,0%

Gains en conso. d'énergie du scénario	Gain %	% Flotte	Durée dépl.	Moyenne 2023-2050
Gains en efficacité au renouvellement	10%	100%	-	6,4%
Gains assistance vélique navires neufs	20%	50%	7	7,6%
Gains opérationnelle	8%	80%	5	5,4%
Baisse de vitesse	15,0%	80%	15	8,7%

Gains en émissions CO2 du scénario	Gain %	% Flotte	Dépl.	Moyenne 2023-2050
Technologiques	20%	20%	7	2,4%

Evolution du mix énergétique de la flotte

Gains d'efficacité et part de flotte concernée

Impact économique et énergie hors maritime pour compenser les volumes

Compensation pertes volumes avec nouveaux navires	OUI
Compensation baisse de vitesse avec nouveaux navires	OUI

Baisse de vitesse	2022	2030	2040	2050
Quantités transportées	100%	113%	125%	125%
Nombre de navires	500	727	899	943
Multiplication énergie report	1,0	1,0	1,0	1,0

Capacité de transport (gauche) et baisse de vitesse (droite)

Part du transport maritime en volumes et évolution du besoin en énergie si report vers routier (80%) et aérien (20%)

Emissions (millions de tonnes)

1 - Emissions CO2 (WTW)	2022	2030	2040	2050	2023-2050
Evolution des émissions	9,0	7,6	3,1	0,4	-14,9
Evolution de la flotte	0%	21%	50%	57%	35%
Efficacité technologique/opérationnelle	0%	-15%	-26%	-45%	-21%
Réduction vitesse	0%	-12%	-26%	-23%	-18%
Changement d'énergie	0%	-10%	-64%	-84%	-41%

2 - Respect réglementation émissions et trajectoires de réchauffement	2022	2030	2040	2050	Critère
Intensité carbone (gCO2e/MJ)	89,9	80,6	31,3	4,9	Fuel EU
Variation référence Fuel EU	-2%	-12%	-66%	-95%	
Objectifs Fuel EU	2,8%	15,8%	73,0%	100,0%	
Energie renouvelables / énergie consommée	2,8%	15,8%	73,0%	100,0%	
Emissions totales (M tonnes)	9,0	7,6	3,1	0,4	OMI
variation	référence	-16%	-66%	-95%	émissions totales
Objectifs OMI (Ref 2009)	100,0	74,9	27,3	3,8	OMI
CIU (gCO2/t.km)	référence	-25%	-73%	-96%	Intensité carbone
Extrapolation des objectifs OMI à date		-22%	-46%	-70%	

Emissions absolues en WTW (% par rapport à 2022)

Intensité carbone de l'énergie en WTW (gCO2e/MJ)

Intensité carbone des navires en WTW (gCO2e/t.km)

Energie (TWh)

3 - Energie consommée à bord (TTW)	2022	2030	2040	2050	2023-2050
Evolution de l'énergie consommée par la flotte	27,7	26,2	26,4	26,6	77,4
Croissance flotte	0%	21%	50%	57%	35%
Efficacité technologique/opérationnelle	0%	-15%	-27%	-37%	-20%
Réduction vitesse	0%	-12%	-25%	-26%	-19%
Changement d'énergie	0%	0%	-2%	-3%	-1%

4 - Energie amont (bio- et e-) (WTT)	2022	2030	2040	2050	2023-2050
Quantité d'énergie fossile	26,9	22,0	7,1	0,0	393
Quantité d'énergie bio-sources (bio + 10% elec)	0,9	3,1	6,2	7,2	136
Quantité d'énergie e-carburants (100% elec)	0,0	3,2	30,6	43,7	571
Quantité d'énergie électrique (quai / bord)	0,0	0,1	0,6	1,2	13

Nombre de réacteurs type Civeaux	0,0	0,3	2,9	4,2
Nombre de champs éoliens type Saint Nazaire	0,0	2,2	21,3	30,6
Nombre de méthaniseurs	11,4	51,1	127,5	179,9

Energie consommée par la flotte (TTW) (TWh)

Besoin en énergie primaire (TWh)

Coût (milliards d'euros constants)

5 - Coût total du scénario	2023-2030	2030-2040	2040-2050	2023-2050
Construction	12,3	20,0	17,1	49
Retrofit	0,9	1,5	0,4	3
Energie	9,8	29,8	49,0	89
Taxe carbone	2,0	6,8	5,2	14
Ports - infrastructures			Aévoluer	

6 - Surcoût du scénario S0 - BAU	2023-2030	2030-2040	2040-2050	2023-2050
Construction	0,89	6,87	5,99	13,75
Retrofit	0,94	1,48	0,39	2,81
Energie	0,08	15,39	33,17	48,63
Ports - infrastructures			Aévoluer	
Taxe carbone	-0,2	-4,3	-15,3	-20
R&D - Démarcheurs			Aévoluer	

Coût total du scénario (G€/an)

Surcoût par rapport au scénario S0 - BAU (G€/an)

Evolution de la consommation à bord par levier

CO2 Réduction des émissions par levier

Annexe 6 – Scénarios de décarbonation par segment de flotte

Pour chacun des segments de flotte « Porte-conteneurs », « Transporteurs de gaz », et « Grands Ferries », 3 scénarios de décarbonation ont été modélisés, selon trois scénarios : S1 – « Transition réaliste », S2 – « Technologique », et S3 – « Sobriété ».

Modélisation 1.1 : Porte-conteneurs, Scénario « Transition réaliste »

Nom du Scénario : **Scénario 1 ("Transition réaliste")** avec conservation des volumes transportés par baisse de vitesse et perte de capacités liés au changement d'énergie

Date production : 11/11/2024

Version du modèle : V.1 - 11/11/2024

Synthèse des principaux paramètres du modèle

Energie initiale consommée WTW (TWh)	4,8	Nb de navires	90
Croissance flotte / énergie	1,5%	Puissance moy. (MW)	13,7
Durée de vie moyenne navires (années)	25		
Date moyenne d'introduction e-fuel	2032	% Flotte concernée par retrofits	
Durée déploiement moyenne e-fuel (années)	18	Hydrodynamique	50,0%
		Vélique	3,0%
		Capture de carbone	10,0%

Gains en conso. d'énergie du scénario		Gain %	% Flotte	Durée déploy.	Moyenne 2024-2050
Gains en efficacité au renouvellement	5%	700%	10	5,0%	
Gains assistance vélique navires neufs	12%	5%	10	0,4%	
Gains opérationnels	5%	50%	20	1,6%	
Baisse de vitesse	15,0%	80%	15	8,7%	

Gains en émissions CO2 du scénario		Gain %	% Flotte	Deploy.	Moyenne 2024-2050
Technologiques	0%	25%	15	0,0%	

Evolution du mix énergétique de la flotte

Gains d'efficacité et part de flotte concernée

Impact économique et énergie hors maritime pour compenser les volumes

Compensation des volumes avec nouveaux navires	OUI
Compensation baisse de vitesse avec nouveaux navires	OUI

	2024	2030	2040	2050
Baisse de vitesse	1,0	8%	15%	100%
Quantités transportées	100%	109%	111%	111%
Nombre de navires	32	37	41	41
Multiplication énergie report	1,0	1,0	1,0	1,0

Capacité de transport (gauche) et baisse de vitesse (droite)

Part du transport maritime en volumes et évolution du besoin en énergie si report vers routier (80%) et aérien (20%)

CO2 Emissions (millions de tonnes)

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
1 - Emissions CO2e (WTW)	1,6	1,2	0,4	0,1	22
Evolution des émissions	Reférence	-26%	-74%	-93%	-23%
Evolution de la flotte	0%	18%	30%	32%	23%
Efficacité technologique/opérationnelle	0%	-6%	-11%	-12%	-8%
Réduction vitesse	0%	-12%	-25%	-25%	-18%
Changement d'énergie	0%	-26%	-68%	-88%	-49%

2 - Respect réglementation émissions et trajectoires de réchauffement

	2024	2030	2040	2050	Critère
Intensité carbone (gCO2e/MJ)	90,2	67,6	25,2	7,2	Fuel EU
Variation référence Fuel EU	-2%	-26%	-73%	-92%	
Objectifs Fuel EU	0%	-6%	-31%	-80%	
Energie renouvelables / énergie consommée	0,0%	32,1%	81,9%	100,0%	OMI
Emissions totales (M tonnes)	1,6	1,2	0,4	0,1	émissions totales
Objectifs OMI (Ref 2009)	Reférence	-26%	-74%	-93%	OMI
CTI (gCO2e/km)	100,0	68,0	23,4	6,7	OMI
Variation	Reférence	-32%	-77%	-93%	Intensité carbone
Extrapolation des objectifs OMI à date		-22%	-46%	-70%	

Emissions absolues en WTW (% par rapport à 2024)

Intensité carbone de l'énergie en WTW (gCO2e/MJ)

Intensité carbone des navires en WTW (gCO2e/L.km)

Energie (TWh)

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
3 - Energie consommée à bord (TTW)	4,8	4,8	4,5	4,6	134
Evolution de l'énergie consommée par la flotte	Reférence	0%	-5%	-4%	-
Croissance flotte	0%	18%	30%	32%	23%
Efficacité technologique/opérationnelle	0%	-6%	-9%	-10%	-6%
Réduction vitesse	0%	-13%	-25%	-25%	-20%
Changement d'énergie	0%	-1%	-1%	-1%	-1%

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
4 - Energie amont (bio- et e-) (WTT)	4,8	5,2	7,4	9,6	202
Quantité d'énergie fossile	4,8	3,3	0,8	0,0	58
Quantité d'énergie bio-sourcée (Bio + 10% elec)	0,0	1,5	1,8	0,8	37
Quantité d'énergie e-carburants (100% elec)	0,0	0,4	4,8	8,7	97
Quantité d'énergie électrique (quai / bord)	0,0	0,0	0,0	0,0	0

	2024	2030	2040	2050
Nombre de réacteurs type Civeaux	0,0	0,0	0,4	0,8
Nombre de champs éoliens type Saint Nazaire	0,0	0,3	3,3	6,0
Nombre de méthaniseurs	0,0	26,1	34,7	19,8

Energie consommée par la flotte (TWh)

Besoin en énergie nationale (TWh)

Evolution de la consommation à bord par levier

CO2 Réduction des émissions par levier

Modélisation 1.2 : Porte-conteneurs, Scénario « Technologique »

Nom du Scénario : **Scénario 2 ("Technologie")** avec conservation des volumes transportés par baisse de vitesse et perte de capacités liés au changement d'énergie

Date production : 11/11/2024

Version du modèle : V.1 - 11/11/2024

Synthèse des principaux paramètres du modèle

Energie initiale consommée WTW (TWh)	4,8	Nb de navires	90
Croissance flotte / énergie	1,5%	Puissance moy. (MW)	13,7
Durée de vie moyenne navires (années)	25	% Flotte concernée par retrofits	
Date moyenne d'introduction e-fuel	2032	Hydrodynamique	50,0%
Durée déploiement moyenne e-fuel (années)	18	Vélique	3,0%
		Capture de carbone	10,0%

Gains en conso. d'énergie du scénario	Gain %	% Flotte	Durée dépl.	Moyenne 2024-2050
Gains en efficacité au renouvellement	10%	100%	-	10,0%
Gains assistance vélique navires neufs	15%	5%	5	0,6%
Gains opérationnels	10%	65%	20	4,1%
Baisse de vitesse	15,0%	80%	5	10,8%

Gains en émissions CO2 du scénario	Gain %	% Flotte	Depl.	Moyenne 2024-2050
Technologiques	15%	50%	15	1,4%

Evolution du mix énergétique de la flotte

Gains d'efficacité et part de flotte concernée

Impact économique et énergie hors maritime pour compenser les volumes

Compensation pertes volumes avec nouveaux navires	OUI
Compensation baisse de vitesse avec nouveaux navires	OUI

Baisse de vitesse	2024	2030	2040	2050
	0%	15%	15%	15%
Quantités transportées	100%	109%	111%	111%
Nombre de navires	32	40	41	41
Variation du nombre de navires	Ref	24%	28%	29%
Multiplification énergie report	1,0	1,0	1,0	1,0

Capacité de transport (gauche) et baisse de vitesse (droite)

Part du transport maritime en volumes et évolution du besoin en énergie si report vers routier (80%) et aérien (20%)

CO2 Emissions (millions de tonnes)

1 - Emissions CO2 (WTW)	2024	2030	2040	2050	2024-2050
Evolution des émissions	1,6	1,0	0,4	0,1	-20
Evolution de la flotte	Ref	-25%	-26%	-23%	-26%
Efficacité technologique/opérationnelle	0%	-13%	-23%	-24%	-16%
Réduction vitesse	0%	-23%	-22%	-22%	-20%
Changement d'énergie	0%	-24%	-61%	-79%	-44%

2 - Respect réglementation émissions et trajectoires de réchauffement	2024	2030	2040	2050	Critère
Intensité carbone (gCO2e/MJ)	90,2	66,9	25,6	7,1	Fuel EU
Variation référence Fuel EU	-2%	-27%	-72%	-92%	
Objectifs Fuel EU	Ref	-6%	-31%	-60%	OMI
Energie renouvelables / énergie consommée	0,0%	32,6%	81,3%	100,0%	
Emissions totales (M tonnes)	1,6	1,0	0,4	0,1	OMI émissions totales
variation	Reférence	-35%	-76%	-93%	
Objectifs OMI (ref 2009)	100,0	60,2	21,3	6,0	OMI
variation	Reférence	-40%	-79%	-94%	Intensité carbone
Extrapolation des objectifs OMI à date	Ref	-22%	-46%	-70%	

Emissions absolues en WTW (% par rapport à 2024)

Intensité carbone de l'énergie en WTW (gCO2e/MJ)

Intensité carbone des navires en WTW (gCO2e/t.km)

Energie (TWh)

3 - Energie consommée à bord (TTW)	2024	2030	2040	2050	2024-2050
Energie consommée à bord (TTW)	4,8	4,4	4,1	4,2	-124
Evolution de l'énergie consommée par la flotte	Reférence	-9%	-13%	-12%	-
Croissance flotte	0%	26%	30%	22%	26%
Efficacité technologique/opérationnelle	0%	-10%	-19%	-21%	-14%
Réduction vitesse	0%	-24%	-23%	-23%	-22%
Changement d'énergie	0%	-1%	-1%	-1%	-1%

4 - Energie amont (bio- et e-) (WTT)	2024	2030	2040	2050	2024-2050
Energie amont (WTT)	4,8	4,7	6,8	8,7	185
Quantité d'énergie fossile	4,8	2,9	0,8	0,0	-54
Quantité d'énergie bio-sourcée (bio +10% élec)	0,0	1,4	1,6	0,7	34
Quantité d'énergie e-carburants (100% élec)	0,0	0,4	4,4	7,9	89
Quantité d'énergie électrique (qual / bord)	0,0	0,0	0,0	0,0	0

2024	2030	2040	2050	
Nombre de réacteurs type Civeaux	0,0	0,0	0,4	0,7
Nombre de champs éoliens type Saint Nazaire	0,0	0,2	2,0	5,4
Nombre de méthaniseurs	0,0	24,3	31,1	18,0

Energie consommée par la flotte (TWh)

Besoin en énergie nationale (TWh)

Evolution de la consommation à bord par levier

CO2 Réduction des émissions par levier

Modélisation 1.3 : Porte-conteneurs, Scénario « Sobriété »

Nom du Scénario : **Scénario 3 ("Sobriété")** sans conservation des volumes transportés par baisse de vitesse et perte de capacités liés au changement d'énergie

Date production : 11/11/2024

Version du modèle : V.1 - 11/11/2024

Synthèse des principaux paramètres du modèle

Energie initiale consommée WTW (TWh)	4,8	Nb de navires	90
Croissance flotte / énergie	0,0%	Puissance moy. (MW)	13,7
Durée de vie moyenne navires (années)	25		
Date moyenne d'introduction e-fuel	2032	% Flotte concernée par retrofit	
Durée déploiement moyenne e-fuel (années)	18	Hydrodynamique	50,0%
		Vélique	3,0%
		Capture de carbone	10,0%

Gains en conso. d'énergie du scénario		Gain %	% Flotte	Durée dépl.	Moyenne 2024-2050
Gains en efficacité au renouvellement		5%	100%	-	5,0%
Gains assistance vélique navires neufs		12%	5%	10	0,4%
Gains opérationnels		5%	50%	20	1,6%
Baisse de vitesse		15,0%	80%	10	9,2%

Gains en émissions CO2 du scénario		Gain %	% Flotte	Depl.	Moyenne 2024-2050
Technologiques		0%	25%	15	0,0%

Evolution du mix énergétique de la flotte

Gains d'efficacité et part de flotte concernée

Impact économique et énergie hors maritime pour compenser les volumes

Compensation parts volumes avec nouveaux navires	NON
Compensation baisse de vitesse avec nouveaux navires	NON

Baisse de vitesse	2024	2030	2040	2050
Quantités transportées	100%	90%	87%	86%
Nombre de navires	32	32	32	32
Variation du nombre de navires	Ref	0%	0%	0%
Multiplication énergie report	1,0	1,6	1,8	1,8

Capacité de transport (gauche) et baisse de vitesse (droite)

Part du transport maritime en volumes et évolution du besoin en énergie si report vers routier (80%) et aérien (20%)

CO2 Emissions (millions de tonnes)

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
1 - Emissions CO2 (WTW)	1,6	1,0	0,3	0,1	19
Evolution des émissions	Référence	-38%	-79%	-94%	-
Evolution de la flotte	0%	-1%	-2%	-2%	2%
Efficacité technologique/opérationnelle	0%	-5%	-9%	-9%	-6%
Réduction vitesse	0%	-16%	-19%	-19%	-16%
Changement d'énergie	0%	-19%	-53%	-68%	-38%

Emissions absolues en WTW (% par rapport à 2024)

Intensité carbone de l'énergie en WTW (gCO2e/MJ)

Intensité carbone des navires en WTW (gCO2e/t.km)

Energie (TWh)

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
3 - Energie consommée à bord (TTW)	4,8	3,9	3,5	3,6	109
Evolution de l'énergie consommée par la flotte	Référence	-19%	-25%	-25%	-
Croissance flotte	0%	1%	2%	2%	2%
Efficacité technologique/opérationnelle	0%	-3%	-7%	-9%	-5%
Réduction vitesse	0%	-16%	-20%	-20%	-17%
Changement d'énergie	0%	-1%	0%	0%	-1%

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
4 - Energie amont (bio- et e-) (WTT)	4,8	4,2	5,8	7,4	160
Quantité d'énergie fossile	4,8	2,7	0,7	0,0	52
Quantité d'énergie bio-sourcée (bio + 10% elec)	0,0	1,1	1,3	0,6	29
Quantité d'énergie e-carburants (100% elec)	0,0	0,3	3,7	6,7	75
Quantité d'énergie électrique (quai / bord)	0,0	0,0	0,0	0,0	0

Energie consommée par la flotte (TWh)

Besoin en énergie nationale (TWh)

Evolution de la consommation à bord par levier

CO2 Réduction des émissions par levier

Modélisation 2.1 : Transporteurs de gaz, Scénario « Transition réaliste »

Nom du Scénario : **Scénario 1 ("Transition réaliste")** avec conservation des volumes transportés par baisse de vitesse et perte de capacités liés au changement d'énergie

Date production : 26/09/2024

Version du modèle : V.1 - 20/06/2024

Synthèse des principaux paramètres du modèle

Energie initiale consommée WTW (TWh)	5,54	Nb de navires	25
Croissance flotte / énergie	10,0%	Puissance moy. (MW)	20,2
Durée de vie moyenne navires (années)	25	% Flotte concernée par retrofits	
Date moyenne d'introduction e-fuel	2037	Hydrodynamique	30,0%
Durée déploiement moyenne e-fuel (années)	12	Vélique	10,0%
		Capture de carbone	10,0%

Gains en conso d'énergie du scénario		Gain %	% Flotte	Durée déploy.	Moyenne 2024-2050
Gains en efficacité au renouvellement	5%	100%	-	-	5,0%
Gains assistance vélique navires neufs	10%	72%	6	3,0%	
Gains opérationnels	10%	50%	10	4,1%	
Baisse de vitesse	15,0%	80%	15	8,7%	

Gains en émissions CO2 du scénario		Gain %	% Flotte	Deploy.	Moyenne 2024-2050
Technologiques	10%	25%	11	0,8%	

Evolution du mix énergétique de la flotte

Gains d'efficacité et part de flotte concernée

Impact économique et énergie hors maritime pour compenser les volumes

Compensation pertes volumes avec nouveaux navires	NON
Compensation baisse de vitesse avec nouveaux navires	NON

	2024	2030	2040	2050
Baisse de vitesse	0%	8%	15%	15%
Quantités transportées	100%	134%	146%	167%
Nombre de navires	25	36	41	48
Variation du nombre de navires	0%	43%	63%	91%
Multiplication énergie report	1,0	0,9	1,3	1,3

Capacité de transport (gauche) et baisse de vitesse (droite)

Part du transport maritime en volumes et évolution du besoin en énergie si report vers routier (80%) et aérien (20%)

Emissions (millions de tonnes)

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
1 - Emissions CO2 (WTW)	1,8	1,9	1,0	0,2	-83
Evolution des émissions	Référence	10%	-41%	-87%	-
Evolution de la flotte	0%	43%	66%	91%	55%
Efficacité technologique/opérationnelle	0%	-9%	-16%	-32%	-14%
Réduction vitesse	0%	-13%	-28%	-29%	-20%
Changement d'énergie	0%	-10%	-63%	-116%	-47%

2 - Respect réglementation émissions et trajectoires de réchauffement

	2024	2030	2040	2050	Critère
Intensité carbone (gCO2e/MJ)	88,2	80,5	42,8	9,0	Fuel EU
Variation référence Fuel EU	-4%	-12%	-53%	-90%	
Objectifs Fuel EU	0%	-6%	-31%	-80%	

	2024	2030	2040	2050	OMI
Energie renouvelables / énergie consommée	0,0%	8,0%	57,0%	100,0%	
Emissions totales (M tonnes)	1,8	1,9	1,0	0,2	émissions totales
variation	Référence	10%	-41%	-87%	
Objectifs OMI (ref 2009)	0%	-13%	-28%	-29%	OMI
GII (gCO2/t.km)	100,0	82,3	40,8	7,9	OMI
Variation	Référence	-18%	-59%	-92%	Intensité carbone
Extrapolation des objectifs OMI à date		-22%	-46%	-70%	

Emissions absolues en WTW (% par rapport à 2024)

Intensité carbone de l'énergie en WTW (gCO2e/MJ)

Intensité carbone des navires en WTW (gCO2e/t.km)

Energie (TWh)

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
3 - Energie consommée à bord (TTW)	5,5	6,8	6,8	6,2	192
Evolution de l'énergie consommée par la flotte	Référence	23%	25%	36%	-
Croissance flotte	0%	43%	66%	91%	55%
Efficacité technologique/opérationnelle	0%	-7%	-12%	-27%	-11%
Réduction vitesse	0%	-13%	-28%	-30%	-24%
Changement d'énergie	0%	0%	0%	1%	0%

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
4 - Energie amont (bio- et e-) (WTT)	5,5	6,8	9,2	11,9	231
Quantité d'énergie fossile	5,5	6,2	2,9	0,0	11,4
Quantité d'énergie bio-sourcée (bio + 10% elec)	0,0	0,6	2,6	2,5	4,5
Quantité d'énergie e-carburants (100% elec)	0,0	0,0	3,6	9,4	89
Quantité d'énergie électrique (quai / bord)	0,0	0,0	0,0	0,0	0

	2024	2030	2040	2050
Nombre de réacteurs type Cixear	0,0	0,0	0,3	0,9
Nombre de champs éoliens type Saint Nazaire	0,0	0,0	2,3	6,4
Nombre de méthaniseurs	0,0	12,8	55,6	57,2

Energie consommée par la flotte (TWh)

Besoin en énergie nationale (TWh)

Evolution de la consommation à bord par levier

Réduction des émissions par levier

Modélisation 2.2 : Transporteurs de gaz, Scénario « Technologique »

Nom du Scénario : **Scénario 2 ("Technologie avancée")** avec conservation des volumes transportés par baisse de vitesse et perte de capacités liés au changement d'énergie

Date production : 26/09/2024

Version du modèle : V.1 - 20/06/2024

Synthèse des principaux paramètres du modèle

Energie initiale consommée TW (TWh)	5,54	Nb de navires	25
Croissance flotte / énergie	10,0%	Puissance moy. (MW)	20,2
Durée de vie moyenne navires (années)	25	% Flotte concernée par retrofits	
Date moyenne d'introduction e-fuel	2037	Hydrodynamique	30,0%
Durée déploiement moyenne e-fuel (années)	12	Vélique	10,0%
		Capture de carbone	10,0%

Gains en conso d'énergie du scénario		Gain %	% Flotte	Durée dépl.	Moyenne 2024-2050
Gains en efficacité au renouvellement	10%	100%	-	10,0%	
Gains assistance vélique navires neufs	20%	75%	4	11,6%	
Gains opérationnels	20%	65%	10	10,5%	
Baisse de vitesse	15,0%	80%	15	8,7%	

Gains en émissions CO2 du scénario		Gain %	% Flotte	Deploi.	Moyenne 2024-2050
Technologiques	100%	50%	5	90,0%	

Evolution du mix énergétique de la flotte

Gains d'efficacité et part de flotte concernée

Impact économique et énergie hors maritime pour compenser les volumes

Compensation pertes volumes avec nouveaux navires	NON
Compensation baisse de vitesse avec nouveaux navires	NON

	2024	2030	2040	2050
Baisse de vitesse	0%	8%	15%	15%
Quantités transportées	100%	134%	146%	167%
Nombre de navires	25	36	41	48
Variation du nombre de navires	0%	43%	63%	91%
Multiplication énergie report	1,0	0,9	1,3	1,3

Capacité de transport (gauche) et baisse de vitesse (droite)

Part du transport maritime en volumes et évolution du besoin en énergie si report vers routier (80%) et aérien (20%)

Emissions (millions de tonnes)

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
1 - Emissions CO2 (WTW)	1,8	1,7	0,8	0,1	-63
Evolution des émissions	Référence	0%	-43%	-54%	-92%
Evolution de la flotte	0%	43%	66%	91%	55%
Efficacité technologique/opérationnelle	0%	-26%	-49%	-150%	-49%
Réduction vitesse	0%	-12%	-22%	-8%	-14%
Changement d'énergie	0%	-9%	-49%	-30%	-27%

2 - Respect réglementation émissions et trajectoires de réchauffement

	2024	2030	2040	2050	Critère
Intensité carbone (gCO2e/MJ)	88,2	80,5	42,8	9,0	Fuel EU
Variation référence Fuel EU	-4%	-12%	-53%	-90%	
Objectifs Fuel EU	0%	-4%	-31%	-80%	
Energie renouvelables / énergie consommée	0,0%	8,0%	56,9%	100,0%	
Emissions totales (M tonnes)	1,8	1,7	0,8	0,1	OMI
variation	Référence	-4%	-54%	-97%	émissions totales
Objectifs OMI (ref 2009)	0%	-4%	-31%	-80%	OMI
COI (gCO2/t.km)	100,0	71,8	31,9	2,0	OMI
Variation	Référence	-28%	-68%	-98%	Intensité carbone
Extrapolation des objectifs OMI à date	0%	-22%	-46%	-70%	

Emissions absolues en WTW (% par rapport à 2024)

Intensité carbone de l'énergie en WTW (gCO2e/MJ)

Intensité carbone des navires en WTW (gCO2e/t.km)

Energie (TWh)

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
3 - Energie consommée à bord (TTW)	5,5	6,3	6,1	5,1	-174
Evolution de l'énergie consommée par la flotte	Référence	14%	11%	11%	-
Croissance flotte	0%	43%	66%	91%	55%
Efficacité technologique/opérationnelle	0%	-17%	-29%	-56%	-25%
Réduction vitesse	0%	-12%	-25%	-25%	-14%
Changement d'énergie	0%	0%	0%	1%	0%

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
4 - Energie amont (bio- et e-) (WTT)	5,5	6,3	6,1	5,1	-230
Quantité d'énergie fossile	5,5	5,5	2,6	0,0	-107
Quantité d'énergie bio-sourcée (bio + 10% elec)	0,0	0,6	2,3	2,1	39
Quantité d'énergie e-carburants (100% elec)	0,0	0,0	3,2	7,7	76
Quantité d'énergie électrique (qual. à bord)	0,0	0,0	0,0	0,0	0

	2024	2030	2040	2050
Nombre de réacteurs type Oiveaux	0,0	0,0	0,3	0,7
Nombre de champs éoliens type Saint Nazaire	0,0	0,0	2,2	3,3
Nombre de méthaniseurs	0,0	11,9	49,5	46,8

Energie consommée par la flotte (TTW)

Besoin en énergie nationale (TWh)

Evolution de la consommation à bord par levier

Réduction des émissions par levier

Modélisation 2.3 : Transporteurs de gaz, Scénario « Sobriété »

Nom du Scénario : **Scénario 3 ("Sobriété")** sans conservation des volumes transportés par baisse de vitesse et perte de capacités liés au changement d'énergie

Date production : 26/09/2024

Version du modèle : V.1 - 20/06/2024

Synthèse des principaux paramètres du modèle

Energie initiale consommée WTW (TWh)	5,54	Nb de navires	25
Croissance flotte / énergie	10,0%	Puissance moy. (MW)	20,2
Durée de vie moyenne navires (années)	25	% Flotte concernée par retrofits	
Date moyenne d'introduction e-fuel	2037	Hydrodynamique	30,0%
Durée déploiement moyenne e-fuel (années)	12	Vélique	20,0%
		Capture de carbone	10,0%

Gains en conso. d'énergie du scénario		Gain %	% Flotte	Durée déploy.	Moyenne 2024-2050
Gains en efficacité au renouvellement	5%	100%	-	-	5,0%
Gains assistance vélique navires neufs	10%	80%	6	3,4%	
Gains opérationnels	10%	80%	10	2,4%	
Baisse de vitesse	20,0%	100%	15	14,5%	

Gains en émissions CO2 du scénario		Gain %	% Flotte	Deploy.	Moyenne 2024-2050
Technologiques	5%	25%	11	0,2%	

Evolution du mix énergétique de la flotte

Gains d'efficacité et part de flotte concernée

Impact économique et énergie hors maritime pour compenser les volumes

Compensation pertes volumes avec nouveaux navires	NON
Compensation baisse de vitesse avec nouveaux navires	NON

Baisse de vitesse	2024	2030	2040	2050
Quantités transportées	100%	128%	132%	152%
Nombre de navires	25	36	41	48
Variation du nombre de navires	Ref.	43%	63%	71%
Multiplication énergie report	1,0	1,2	1,8	1,8

Capacité de transport (gauche) et baisse de vitesse (droite)

Part du transport maritime en énergie si report vers routier (80%) et aérien (20%)

CO2 Emissions (millions de tonnes)

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
1- Emissions CO2 (WTW)	1,8	1,7	0,8	0,2	34
Evolution des émissions	Ref.	-1%	-53%	-89%	-
Evolution de la flotte	0%	43%	66%	91%	55%
Efficacité technologique/opérationnelle	0%	-9%	-13%	-23%	-11%
Réduction vitesse	0%	-26%	-56%	-62%	-40%
Changement d'énergie	0%	-9%	-50%	-95%	-38%

2- Respect réglementation émissions et trajectoires de réchauffement

	2024	2030	2040	2050	Critère
Intensité carbone (gCO2e/MJ)	88,2	80,5	42,8	9,0	Fuel EU
Variation référence Fuel EU	-4%	-12%	-53%	-90%	
Objectifs Fuel EU	Ref.	4%	31%	80%	
Energie renouvelables / énergie consommée	0,0%	8,0%	57,0%	100,0%	
Emissions totales (M tonnes)	1,8	1,7	0,8	0,2	OMI
variation	Ref.	-1%	-53%	-89%	
Objectifs OMI (ref 2009)	Ref.	43%	63%	71%	OMI
OMI (gCO2/Lkm)	100,0	77,4	35,4	7,1	
Variation	Ref.	-23%	-65%	-93%	
Extrapolation des objectifs OMI à date	Ref.	-22%	-46%	-70%	Intensité carbone

Emissions absolues en WTW (% par rapport à 2024)

Intensité carbone de l'énergie en WTW (gCO2e/MJ)

Intensité carbone des navires en WTW (gCO2e/L.km)

Energie (TWh)

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
3- Energie consommée à bord (TTW)	5,5	6,1	5,4	5,0	164
Evolution de l'énergie consommée par la flotte	Ref.	10%	-1%	9%	-
Croissance flotte	0%	43%	66%	91%	55%
Efficacité technologique/opérationnelle	0%	-6%	-10%	-20%	-9%
Réduction vitesse	0%	-27%	-57%	-63%	-50%
Changement d'énergie	0%	0%	0%	1%	0%

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
4- Energie amont (bio- et e-) (WTT)	5,5	6,1	7,2	9,6	216
Quantité d'énergie fossile	5,5	3,6	2,3	0,0	101
Quantité d'énergie bio-sourcée (bio +10% élec)	0,0	0,5	2,1	2,0	36
Quantité d'énergie e-carburants (100% élec)	0,0	0,0	2,9	7,6	71
Quantité d'énergie électrique (qui / bord)	0,0	0,0	0,0	0,0	0

Nombre de réacteurs type Civesaux	0,0	0,0	0,3	0,7
Nombre de champs navires type Saint Nazaire	0,0	0,0	1,9	5,2
Nombre de méthaniseurs	0,0	11,5	43,8	46,2

Energie consommée par la flotte (TWh)

Besoin en énergie nationale (TWh)

Evolution de la consommation à bord par levier

CO2 Réduction des émissions par levier

Modélisation 3.1 : Grands Ferries, Scénario « Transition réaliste »

Nom du Scénario : **Scénario 1 ("Transition réaliste")**
 avec conservation des volumes transportés par baisse de vitesse et perte de capacités liés au changement d'énergie

Date production : 30/09/2024

Version du modèle : V.1 - 20/06/2024

Synthèse des principaux paramètres du modèle

Energie initiale consommée WTW (TWh)	4,15	Nb de navires	30
Croissance flotte / énergie	1,5%	Puissance moy. (MW)	12,6
Durée de vie moyenne navires (années)	30		
Date moyenne d'introduction e-fuel	2039	% Flotte concernée par retrofits	50,0%
Durée de déploiement moyenne e-fuel (années)	10	Hydrodynamique	50,0%
		Vélique	3,0%
		Capture de carbone	10,0%

Gains en conso. d'énergie du scénario	Gain %	% Flotte	Durée dépl.	Moyenne 2024-2050
Gains en efficacité au renouvellement	5%	100%	-	5,0%
Gains assistance vélique navires neufs	8%	5%	5	0,3%
Gains opérationnels	5%	50%	25	1,4%
Baisse de vitesse	5,0%	80%	15	2,9%

Gains en émissions CO2 du scénario	Gain %	% Flotte	Depl.	Moyenne 2024-2050
Technologiques	10%	25%	15	0,6%

Evolution du mix énergétique de la flotte

Gains d'efficacité et part de flotte concernée

Impact économique et énergie hors maritime pour compenser les volumes

Compensation pertes volumes avec nouveaux navires	OUI
Compensation baisse de vitesse avec nouveaux navires	OUI

	2024	2030	2040	2050
Baisse de vitesse	0%	3%	5%	5%
Quantités transportées	100%	109%	111%	111%
Nombre de navires	31	35	37	37
Variation du nombre de navires	Ref.	12%	18%	20%
Multiplication énergie report	1,0	1,0	1,0	1,0

Capacité de transport (gauche) et baisse de vitesse (droite)

Part du transport maritime en volumes et évolution du besoin en énergie si report vers routier (80%) et aérien (20%)

Emissions (millions de tonnes)

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
1- Emissions CO2 (WTW)	1,4	1,4	0,6	0,1	2,6
Evolution des émissions	Référence	-4%	-55%	-90%	-
Evolution de la flotte	0%	13%	20%	22%	16%
Efficacité technologique/opérationnelle	0%	-4%	-9%	-12%	-7%
Réduction vitesse	0%	-4%	-8%	-8%	-6%
Changement d'énergie	0%	-5%	-57%	-91%	-37%

2- Respect réglementation émissions et trajectoires de réchauffement

	2024	2030	2040	2050	Critère
Intensité carbone (gCO2e/MJ)	90,8	84,4	40,1	9,3	
Variation référence Fuel EU	-1%	-8%	-56%	-90%	Fuel EU
Objectifs Fuel EU		-6%	-31%	-80%	
Energie renouvelables / énergie consommée	0,0%	6,3%	61,0%	95,6%	
Emissions totales (M tonnes)	1,4	1,4	0,6	0,1	OMI
variation	Référence	-4%	-55%	-90%	émissions totales
Objectifs OMI (Ref 2009)				-50%	
CIU (gCO2/t.km)	100,0	88,7	40,7	9,2	OMI
Variation	Référence	-11%	-59%	-91%	Intensité carbone
Extrapolation des objectifs OMI à date		-22%	-46%	-70%	

Emissions absolues en WTW (% par rapport à 2024)

Intensité carbone de l'énergie en WTW (gCO2e/MJ)

Intensité carbone des navires en WTW (gCO2e/t.km)

Energie (TWh)

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
3- Energie consommée à bord (TTW)	4,3	4,4	4,4	4,3	12,6
Evolution de l'énergie consommée par la flotte	Référence	7%	5%	4%	-
Croissance flotte	0%	13%	20%	22%	16%
Efficacité technologique/opérationnelle	0%	-4%	-7%	-9%	-6%
Réduction vitesse	0%	-4%	-8%	-8%	-6%
Changement d'énergie	0%	2%	0%	-1%	1%

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
4- Energie amont (bio- et e-) (WTT)	4,3	4,4	5,0	6,0	14,3
Quantité d'énergie fossile	4,3	4,1	1,7	0,2	7,6
Quantité d'énergie bio-sourcée (bio + 10% élec)	0,0	0,3	1,4	1,7	2,1
Quantité d'énergie e-carburants (100% élec)	0,0	0,0	1,9	4,5	4,3
Quantité d'énergie électrique (quai à bord)	0,0	0,0	0,1	0,2	2

	2024	2030	2040	2050
Nombre de réacteurs type Civeaux	0,0	0,0	0,2	0,4
Nombre de champs éoliens type Saint Nazaire	0,0	0,0	1,3	3,2
Nombre de méthaniseurs	0,0	2,1	16,5	19,4

Energie consommée par la flotte (TWh)

Besoin en énergie nationale (TWh)

Evolution de la consommation à bord par levier

Réduction des émissions par levier

Modélisation 3.2 : Grands Ferries, Scénario « Technologique »

Nom du scénario : **Scénario 2 ("Technologie avancée")** Date production : 30/09/2024 Version du modèle : V.1 - 20/06/2024

avec conservation des volumes transportés par baisse de vitesse et perte de capacités liés au changement d'énergie

Synthèse des principaux paramètres du modèle

Energie initiale consommée WTW (TWh)	4,15	Nb de navires	30
Croissance flotte / énergie	1,5%	Puissance moy. (MW)	12,6
Durée de vie moyenne navires (années)	30		
Date moyenne d'introduction e-fuel	2039	% Flotte concernée par rétrofits	
Durée de déploiement moyenne e-fuel (années)	10	Hydrodynamique	50,0%
		Vélique	3,0%
		Capture de carbone	10,0%

Gains en conso. d'énergie du scénario	Gain %	% Flotte	Durée dépl.	Moyenne 2024-2050
Gains en efficacité au renouvellement	10%	100%	-	10,0%
Gains assistance vélique navires neufs	15%	5%	5	0,6%
Gains opérationnels	10%	65%	25	3,6%
Baisse de vitesse	5,0%	80%	15	2,9%

Gains en émissions CO2 du scénario	Gain %	% Flotte	Dépl.	Moyenne 2024-2050
Technologiques	15%	50%	12	1,3%

Evolution du mix énergétique de la flotte

Gains d'efficacité et part de flotte concernée

Impact économique et énergie hors maritime pour compenser les volumes

Compensation pertes volumes avec nouveaux navires	OUI
Compensation baisse de vitesse avec nouveaux navires	OUI

	2024	2030	2040	2050
Baisse de vitesse	0%	3%	5%	5%
Quantités transportées	100%	109%	111%	111%
Nombre de navires	31	35	37	37
Variation du nombre de navires	0%	12%	18%	20%
Multiplication énergie report	1,0	1,0	1,0	1,0

Capacité de transport (gauche) et baisse de vitesse (droite)

Part du transport maritime en volumes et évolution du besoin en énergie si report vers routier (80%) et aérien (20%)

CO2 Emissions (millions de tonnes)

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
1 - Emissions CO2 (WTW)	1,4	1,3	0,6	0,1	-2,5
Evolution des émissions	Référence	-7%	-59%	-91%	-91%
Evolution de la flotte	0%	13%	20%	22%	16%
Efficacité technologique/opérationnelle	0%	-8%	-17%	-24%	-14%
Réduction vitesse	0%	-4%	-8%	-7%	-6%
Changement d'énergie	0%	-5%	-53%	-82%	-34%

	2024	2030	2040	2050	Critère
Intensité carbone (gCO2e/MJ)	90,8	84,3	39,4	8,8	Fuel EU
Variation référence Fuel EU	-1%	-8%	-57%	-90%	
Objectifs Fuel EU	0%	-6%	-31%	-80%	
Energie renouvelables / énergie consommée	0,0%	6,3%	62,2%	97,1%	
Emissions totales (M tonnes)	1,4	1,3	0,6	0,1	OMI
variation	Référence	-7%	-59%	-91%	émissions totales
Objectifs OMI (ref 2009)	0%	-7%	-31%	-80%	OMI
COI (gCO2/Lkm)	100,0	85,5	36,7	7,8	OMI
Variation	Référence	-15%	-63%	-92%	Intensité carbone
Extrapolation des objectifs OMI à date	0%	-22%	-46%	-70%	

Emissions absolues en WTW (% par rapport à 2024)

Intensité carbone de l'énergie en WTW (gCO2e/MJ)

Intensité carbone des navires en WTW (gCO2e/Lkm)

Energie (TWh)

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
3 - Energie consommée à bord (TTW)	4,3	4,2	4,1	3,9	-119
Evolution de l'énergie consommée par la flotte	Référence	3%	-2%	-6%	-16%
Croissance flotte	0%	13%	20%	22%	16%
Efficacité technologique/opérationnelle	0%	-7%	-14%	-19%	-12%
Réduction vitesse	0%	-4%	-8%	-7%	-6%
Changement d'énergie	0%	2%	0%	-1%	1%

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
4 - Energie amont (bio- et e-) (WTT)	4,3	4,3	4,7	5,7	138
Quantité d'énergie fossile	4,3	4,0	1,3	0,1	-2,2
Quantité d'énergie bio-sourcée (bio + 10% élec)	0,0	0,3	1,3	1,2	2,1
Quantité d'énergie e-carburants (100% élec)	0,0	0,0	1,8	4,3	4,0
Quantité d'énergie électrique (qui / bord)	0,0	0,0	0,1	0,1	2

	2024	2030	2040	2050
Nombre de réacteurs type Civeaux	0,0	0,0	0,2	0,4
Nombre de champs solaires type Saint Nazaire	0,0	0,0	1,3	3,0
Nombre de méthaniseurs	0,0	2,1	17,0	21,5

Energie consommée par la flotte (TWh)

Besoin en énergie nationale (TWh)

Evolution de la consommation à bord par levier

CO2 Réduction des émissions par levier

Modélisation 3.3 : Grands Ferries, Scénario « Sobriété »

Nom du Scénario : **Scénario 3 ("Sobriété")** sans conservation des volumes transportés par baisse de vitesse et perte de capacités liés au changement d'énergie

Date production : 30/09/2024

Version du modèle : V.1 - 20/06/2024

Synthèse des principaux paramètres du modèle

Energie initiale consommée WTW (TWh)	4,15	Nb de navires	30
Croissance flotte / énergie	0,0%	Puissance moy. (MW)	12,6
Durée de vie moyenne navires (années)	30	% Flotte concernée par retrofits	
Date moyenne d'introduction e-fuel	2039	Hydrodynamique	50,0%
Durée déploiement moyenne e-fuel (années)	10	Vélique	2,0%
		Capture de carbone	10,0%

Gains en conso. d'énergie du scénario		Gain %	% Flotte	Durée dépl.	Moyenne 2024-2050
Gains en efficacité au renouvellement	5%	100%	-	-	5,0%
Gains assistance vélique navires neufs	8%	2%	5	-	0,1%
Gains opérationnels	5%	30%	25	-	0,8%
Baisse de vitesse	10,0%	80%	15	-	5,8%
Gains en émissions CO2 du scénario		Gain %	% Flotte	Dépl.	Moyenne 2024-2050
Technologiques	5%	25%	15	-	0,2%

Evolution du mix énergétique de la flotte

Gains d'efficacité et part de flotte concernée

Impact économique et énergie hors maritime pour compenser les volumes

Compensation pertes volumes avec nouveaux navires	NON
Compensation baisse de vitesse avec nouveaux navires	NON

Baisse de vitesse	2024	2030	2040	2050
Quantités transportées	100%	95%	90%	85%
Nombre de navires	31	31	31	31
Multipl. énergie report	1,0	1,3	1,6	1,6

Capacité de transport (gauche) et baisse de vitesse (droite)

Part du transport maritime en volumes et évolution du besoin en énergie si report vers routier (80%) et aérien (20%)

CO2 Emissions (millions de tonnes)

2024	2030	2040	2050	2024-2050
1,4	1,2	0,5	0,1	22

Emissions absolues en WTW (% par rapport à 2024)

Intensité carbone de l'énergie en WTW (gCO2e/MJ)

Intensité carbone des navires en WTW (gCO2e/L.km)

Energie (TWh)

2024	2030	2040	2050	2024-2050
4,3	3,8	3,4	3,4	10,6

Energie consommée par la flotte (TWh)

Besoin en énergie nationale (TWh)

Evolution de la consommation à bord par levier

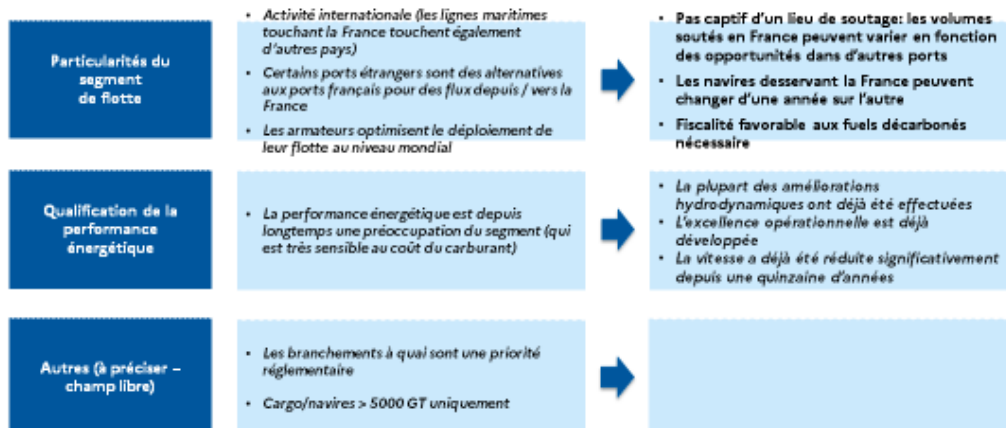
CO2 Réduction des émissions par levier

Annexe 7 – Synthèse des groupes de travail par segments de flotte



1. Groupe de travail « Porte-conteneurs »









GT [Porte-conteneurs] Propos liminaires






Caractéristiques de la flotte





	CMA CGM	Marfret
		
Type de navire (balestier, pétrolier, UMS)	~650 navires de 500 à 23,000 TEUs (dont ~170 sur des services touchant la France)	5 navires PC, 1 en livraison 2025, De 500 à 2500 TEUs
Répartition sur la façade	~90 navires ont souté une partie de leur carburant en France en 2022	3 navires ont souté une partie de leur carburant en France en 2022
Moyenne d'âge	13 ans	17 ans
% de Construction française	0% (pas d'offre) mais collaboration avec Chantiers ST Nazaire sur prototype d'assistance vélique	0% (pas d'offre)
Consommation par type de combustible en 2022 (m³)	France : 408 kt equiv FO (3 kt HSFO, 242 kt VLSFO, 15 kt MDO, 148 kt LNG)	France : 3,2kt de carburant (2,5kt VLSFO, 0,7kt MGO)
Consommation par façade 2022 (m³ et port)	Fos : 176 kt, Marseille : 37 kt Menton : 53 kt Le Havre : 45 kt, Dunkerque : 5 kt Pointe-à-Pître : 92 kt	Marseille : 2,45kt Le Havre : 7kt Dunkerque : 0,05kt




Levier Efficacité énergétique Réduction de la traînée

		CMA CGM	Marfret
RETROFIT	Revêtement des carènes		Déjà optimisés par peinture antifouling 
	Modification du bulbe	Inclus dans un gain global rétrofits hydrodynamiques (5% sur 50% de la flotte) (~ 200M USD de capex consacrés en 10 ans)	Non 
	Modification de l'étrave		Non 
CONSTRUCTION NEUVE	Optimisation des formes	Inclus dans un gain global au renouvellement (5%) 	Inclus dans un gain global au renouvellement (5%) 





 Nécessaire
  Envisageable
  Non applicable




Levier Efficacité énergétique Optimisation du rendement propulsif

	CMA CGM	Marfret
RETROFIT	Inclus dans un gain global rétrofits hydrodynamiques (5% sur 50% de la flotte) 	Ajout appendice (hélice, safran) 
CONSTRUCTION NEUVE	Inclus dans un gain global au renouvellement (5%) 	Inclus dans un gain global au renouvellement (5%) 





 Nécessaire
  Envisageable
  Non applicable

Levier Efficacité énergétique Optimisation de la consommation d'énergie à bord

	CMA CGM	Marfret
RETROFIT	Inclus dans le gain d'excellence opérationnelle (5% sur 50% de la flotte) (Investissement ~ 20M\$ Programme Smartship) 	Implémentation des procédures de gestion de l'énergie Tout sauf moteur / propulsion (elec, chaudière) 
CONSTRUCTION NEUVE	Inclus dans le gain d'excellence opérationnelle (5% sur 50% de la flotte) 	Optimisation des générateurs Implémentation de variateurs de fréquence Procédures de gestion de l'énergie 

 Nécessaire
  Envisageable
  Non applicable




Levier Exploitation Excellence opérationnelle et sobriété

RETROFIT & CONSTRUCTION NEUVE	CMA CGM	Marfret
EXCELLENCE OPERATIONNELLE	Gain de 5% sur 50% de la flotte 	Gain de 5% sur 40% de la flotte 
SOBRIETE & REDUCTION DE LA VITESSE	Baisse de 15% de la vitesse sur 80% de la flotte (déploiement en 15 ans) 	Baisse de la vitesse Just-In-Time Weather Routing Optimisation des consommations à bord (déploiement en 15 ans) 

 Nécessaire
  Envisageable
  Non applicable

Levier Exploitation Nettoyage de coque et des hélices

Si applicable seulement

RETROFIT & CONSTRUCTION NEUVE	CMA CGM	Marfret
NETTOYAGE DE COQUE	Inclus dans le gain d'excellence opérationnelle (5% sur 50% de la flotte) 	Réalisé en cale sèche dans la limite des exigences réglementées à ce jour 
NETTOYAGE DES HELICES		Réalisé à intervalle régulier Gain 2 à 3 % 

 Nécessaire
  Envisageable
  Non applicable

Levier Energies et Infrastructures

Energies fossiles moins carbonées et transitoires GNL et/ou méthanol



	CMA CGM	Marfret
RETROFIT	<p>GNL : non retenu après étude technico-économique</p> <p>Méthanol : pilote en cours sur 2 navires. Navires supplémentaires à l'étude.</p>	
CONSTRUCTION NEUVE	<p>La majorité de nos nouvelles commandes sont DF LNG ou méthanol</p>	<p>Motorisation et/ou groupes électrogènes « dual fuel méthanol</p>

● Nécessaire
 ● Envisageable
 ● Non applicable

Levier Energies et Infrastructures

Biocarburants liquides - gazeux



	CMA CGM	Marfret
RETROFIT	<p>Incorporation progressive de biodiesel, biométhane et biométhanol sur 2024–2030 (seules solutions disponibles), potentiellement jusqu'à 10% de bio sur le FO, 20% sur le méthane et 2.5% sur le méthanol en 2030, sous réserve de disponibilité et de compétitivité du prix des molécules</p>	<p>Incorporation progressive de biodiesel sur 2024–2030 (seules solutions disponibles, de FAME ou EMAG), sous réserve de disponibilité et de compétitivité du prix des molécules</p>
CONSTRUCTION NEUVE		<p>Incorporation progressive de biodiesel sur 2024–2030 (seules solutions disponibles, de FAME ou EMAG), sous réserve de disponibilité et de compétitivité du prix des molécules</p>

● Nécessaire
 ● Envisageable
 ● Non applicable

Levier Energies et Infrastructures E-carburants: Méthanol, Ammoniac, Hydrogène...

	CMA CGM	Marfret
RETROFIT	●	●
CONSTRUCTION NEUVE	●	●

Incorporation progressive d'e-fuels à partir de 2030, en commençant par e-méthanol et e-méthane

● Nécessaire
 ● Envisageable
 ● Non applicable

Levier Energies et Infrastructures Electrification – Hybridation du navire

	CMA CGM	Marfret
RETROFIT	●	●
CONSTRUCTION NEUVE	●	●


RETROFIT
 CMA CGM: Hybridation : les premières études ne sont pas concluantes sur le gain GHG
 Marfret: Electrification des navires à quai (On Shore Power Supply, OPS)
 Hybridation : les premières études ne sont pas concluantes sur le gain GHG

CONSTRUCTION NEUVE
 CMA CGM: Electrification : envisagé avec des piles à combustibles
 Hybridation : les premières études ne sont pas concluantes sur le gain GHG
 Marfret: Electrification : envisagé avec des piles à combustibles
 Hybridation : les premières études ne sont pas concluantes sur le gain GHG

● Nécessaire
 ● Envisageable
 ● Non applicable

Levier Energies et Infrastructures Propulsion par le vent







	CHA CGM	Marfret
RETROFIT	Gain de 6% sur 3% de la flotte à 10 ans (technologie non aboutie sur les navires à manutention verticale) 	Gain théorique 5% 
CONSTRUCTION NEUVE	Gain de 12% sur 5% de la flotte à 15 ans 	Gain théorique projeté max. 10% Conception générale du navire au stade de la recherche 

 Nécessaire
  Envisageable
  Non applicable

Levier Energies et Infrastructures Nucléaire



	CHA CGM	Marfret
RETROFIT	Non envisagé 	Non envisagé 
CONSTRUCTION NEUVE	Pas envisagé avant 2035-2040 	Non envisagé 

 Nécessaire
  Envisageable
  Non applicable

Scénarios d'évolution de la flotte CMA CGM



Trajectoire d'émissions : 2030

Scénario 1 : objectif -30% vs 2008
Scénario 2 : objectif -20% vs 2008

Trajectoire d'émissions : 2040

Scénario 1 : objectif -80% vs 2008
Scénario 2 : objectif -70% vs 2008

Trajectoire d'émissions : 2050

Scénario 1 : objectif net zero
Scénario 2 : objectif net zero

Décrire un ou plusieurs scénarios d'évolution de la flotte avec les différentes combinaisons de choix technologiques, opérationnels et énergétiques possibles – identifier les besoins associés en : énergie, technologies, infrastructures, réglementation, financement...
Ce scénario doit être assorti d'objectifs de trajectoire d'émissions à des dates clés (2030, 2040, 2050).

- Les technologies d'efficacité énergétique sont de plus en plus déployées jusqu'à devenir systématiquement implémentées
- Les mesures opérationnelles de réduction de la consommation qui n'impactent pas l'offre commerciale sont implémentées au maximum ; celles qui ont un impact commercial (baisse de vitesse, design du réseau) le sont modérément
- Tous les nouveaux navires sont dual fuel pour réduire la dépendance à un seul type d'énergie, en se répartissant sur les technologies méthane, méthanol dans un premiers temps et ammoniac dans un second temps, en visant en 2050 un mix équilibré entre ces différentes énergies et des solutions pour les navires encore en opération à propulsion conventionnelle (scrubbers, capture de carbone à bord, piles à combustible sur une partie de la flotte)
- Les énergies émettrices de GES sont progressivement remplacées par leurs équivalents bas-carbone (biodiesel, biogaz-méthane, biogaz-méthanol, e-ammoniac) en lien avec l'évolution des réglementations, l'augmentation du nombre de chargeurs acceptant un coût plus élevé pour décarboner leur supply chain, et les politiques volontaristes de certains transporteurs

Scénarios d'évolution de la flotte Marfret



Trajectoire d'émissions : 2030

Scénario 1 :
Scénario 2 :

Trajectoire d'émissions : 2040

Scénario 1 :
Scénario 2 :

Trajectoire d'émissions : 2050

Scénario 1 : -50% vs 2008 (OMI avant rev.2023)
Scénario 2 : NET ZERO

Décrire un ou plusieurs scénarios d'évolution de la flotte avec les différentes combinaisons de choix technologiques, opérationnels et énergétiques possibles – identifier les besoins associés en : énergie, technologies, infrastructures, réglementation, financement...
Ce scénario doit être assorti d'objectifs de trajectoire d'émissions à des dates clés (2030, 2040, 2050).

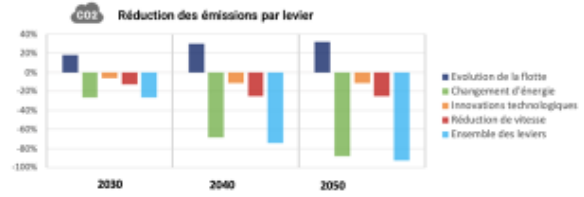
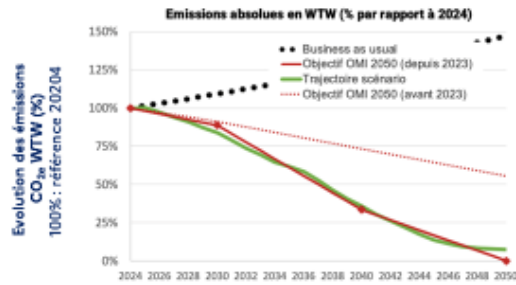
Marfret s'aligne sur les scénarios recommandés par les Hautes Autorités et ses partenaires.

Les estimations de diminution d'émission CO₂ - Tank to Wake – sont mesurées depuis 2023. Nous ne pouvons projeter des chiffres raisonnables par rapport aux références des standards (COP 28: par rapport à 1990, OMI par rapport à 2008, Fuel EU par rapport à 2020) qu'à la suite de calculs conséquents qui sont en cours de réalisation au moment de ce groupe de travail.

Scénario 1 : Just in Time, Réduction de la vitesse, Weather routing : 2 navires déployés +1 en cours pour l'excellence opérationnelle.
Moteur dual fuel, Hydrodynamisme, Aérodynamisme.

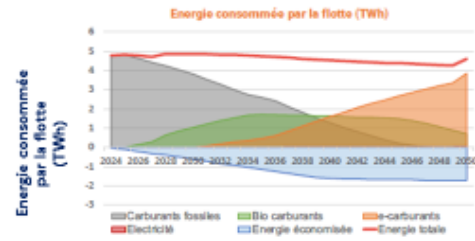
Scénario 2 : Disponibilité et coûts abordables des ressources énergétiques

Trajectoire de décarbonation



Contribution des différents leviers de décarbonation à l'évolution des émissions (%)

	2024	2030	2040	2050	2024-2050
3- Énergie consommée à bord (TWh)	4,8	4,8	4,8	4,8	134
Évolution de l'énergie consommée par la flotte					
- Évolution de la flotte	0%	0%	0%	0%	0%
- Évolution technologique	0%	-4%	-9%	-10%	-4%
- Réduction de vitesse	0%	-13%	-23%	-25%	-20%
- Changement d'énergie	0%	-1%	-1%	-1%	-1%
4- Énergie essor (Bio et e) (TWh)	4,8	5,2	7,4	8,7	39
- Quantité d'énergie fossile	4,8	3,4	0,8	0,8	-40
- Quantité d'énergie bio-sourcée (Bio + 100% dec)	0,0	1,8	1,8	8,0	37
- Quantité d'énergie e-carburants (100% dec)	0,0	0,4	4,8	8,7	37
- Quantité d'énergie électrique (qual. 100%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Nombre de moteurs auxiliaires	6,5	11,0	17,4	22,5	
Nombre de champs aérosols auxiliaires	0,0	0,1	0,3	0,6	
Nombre de moteurs auxiliaires	0,0	26,1	32,7	19,0	



Technologies de décarbonation



TECHNOLOGIES EXISTANTES	Production de Biocarburants (biofuel, biométhane, biométhanol) (FR, UE et non UE)	Forme de la coque (chantier naval non UE)			
TECHNOLOGIES À DÉVELOPPER	Vélique: rotors Flettner, Turbines éoliennes - WindMill (FR, UE et non UE)	Carbon Capture Utilization & Storage (UE et non UE)	Drone de nettoyage de coque (FR, UE et non UE)	Production d'e-fuels (FR, UE et non UE)	Pile à combustible (FR, UE et non UE)

Thématiques particulières à travailler (infrastructure, réglementation, formation, financement...)



Carburants bas-carbone	Offre de carburants bas-carbone en France, notamment biodiesel, bio/e-méthane, bio/e-méthanol, e-ammoniac avec fiscalité / prix favorables
Carbon Capture Utilization & Storage	Logistique terrestre du CO2 (déchargement du navire, transport terrestre, enfouissement)
Réglementation	Normes et méthodologie d'évaluation de gain énergétique à homogénéiser pour l'énergie éolienne (Vélique) Diffusion d'un référentiel des économies de carburants théoriques pour chaque RFNBO
Financement	OPS: l'électricité au port sera-t-elle subventionnée?, quelles garanties sur son origine renouvelable sera disponible? Redistribution des taxes collectées pour la recherche et les aménagements

Démonstrateurs à déployer



Démonstrateur 1	Navire à propulsion vélique	Surcoût système vélique : 15-25 M\$
Démonstrateur 2	CCUS : navire avec capture de CO2 à bord et gestion de la logistique du CO2 à terre	Capture à bord : 25 M\$ CAPEX + 20 M\$ OPEX cumulés Logistique CO2 à terre : 10-30 M\$ OPEX cumulés
Démonstrateur 3		
Démonstrateur 4		
Démonstrateur 5		

2. Groupe de travail « Transporteurs de Gaz »



GT Navires transporteurs de gaz Membres du GT



Entité	Représentant	Position
DGAMPA	Caroline Neuman	Adjointe au sous-directeur Sous-direction de la sécurité et de la transition écologique des navires
DGAMPA	Romain Cazzato	Adjoint au chef de bureau, pour les affaires relatives à la transition écologique et à la réglementation environnementale des navires
Armateur de France	Pierre-Antoine Rochas Pierre Plantin (stagiaire)	Responsable Environnement
EVDL EN	Romain Provost	Global Advisor Energy Transition
France Gaz maritime	Julide Yazar	Directrice Générale
GICAN	Thimothée Mouliner	Délégué Recherche et Développement, Innovation et Numérique
Union des Port de France	Mathilde Pollet	Responsable des affaires économiques & européenne
MEET 2050	Ewan Jacquin Philippe Renaud Klervi Keryhuai Sébastien Jean-François	Co-fondateur Directeur Technique
HDF Energy	M. Montégut Samuel Trémoille	
France LNG Shipping	Veronique Pastre-Maravic	Directrice Générale
GEOGAS	Antoine Rabouas	Ingénieur, Chef de projet
GEOGAS	David Sotander	Risk Manager
GAZOCEAN	JF Castel	Pilote du GT
GAZOCEAN	C. Galland	Pilote du GT
GAZOCEAN	M. Antin / J. Samson / F. Latau	OSSE
GAZOCEAN	R. Adnet	Président
GAZOCEAN	Blaise Thomas	Stagiaire
GAZOCEAN	P. Baelden	Directeur technique
BYS	J. Bouffard	
KNUJSEN	Antoine Gérard	Directeur de Flotte
ORION Global France	Luc Abalica	Président
ORION Global France	Claude Maerten	Directeur Maritime
ORION Global France	Sean McCormack	Directeur Technique
ORION Global France	Wald Benrouma	
VSHIPS	Franck	Superintendants
ORION Global France	Claude Maerten	Directeur Maritime
OPMM	Virginie Bouquenaux / Philippe Casadepax	
	Thomas Berne	
Total Energies	Luc Desclèves	Etudiant Kedge

GT Navires transporteurs de gaz Membres du GT – Présentation du segment



Source statistiques Flotte de Commerce au 01/01/2024

Flotte pétrolière et gazière									
Catégorie	01/01/2024			01/07/2023			01/01/2023		
	Nbre	J.B.	TPL	Nbre	J.B.	TPL	Nbre	J.B.	TPL
pétroliers	25	1 661 653	3 093 573	27	1 687 937	3 172 732	27	1 556 724	2 920 004
Transporteurs de gaz liquéfiés	25	2 366 797	1 912 020	17	1 558 050	1 249 571	15	1 335 556	1 083 708
TOTAL Flotte pétrolière et gazière	50	4 028 450	5 005 593	44	3 245 987	4 422 303	42	2 892 280	4 003 712

GT Navires transporteurs de gaz Membres du GT – Présentation du segment



ORION GLOBAL

Orion Bohemia	JP MORGAN	JP MORGAN
Orion Gauguin	JP MORGAN	
Orion Hugo	JP MORGAN	
Orion Jessica	JP MORGAN	JP MORGAN
Orion Monet	JP MORGAN	
Orion Sea	JP MORGAN	JP MORGAN
Orion Sinead	JP MORGAN	JP MORGAN
Orion Sun	JP MORGAN	JP MORGAN

FLS/GAZOCEAN

Elisa Aquila	France LNG Shipping	Gazocean
Elisa Larus	France LNG Shipping	Gazocean
HHI NYK 11	France LNG Shipping	Gazocean
HHI NYK 12	France LNG Shipping	Gazocean
HHI NYK 13	France LNG Shipping	Gazocean
HHI NYK 14	France LNG Shipping	Gazocean
HHI Edison 1	France LNG Shipping	Gazocean
HHI Edison 2	France LNG Shipping	Gazocean
LNG Adventure	France LNG Shipping	Gazocean
LNG Endurance	France LNG Shipping	Gazocean
LNG Endeavour	France LNG Shipping	Gazocean
LNG Enterprise	France LNG Shipping	Gazocean

KNUTSEN FRANCE

ALICANTE KNUTSEN	KNUTSEN
EXTREMADURA KNUTSEN	KNUTSEN
FERROL KNUTSEN	KNUTSEN
GORDON WATERS	KNUTSEN
GRAZYNA GESICKA	KNUTSEN
IGNACY LUKASIEWICZ	KNUTSEN
LECH KACZYNSKI	KNUTSEN
MALAGA KNUTSEN	KNUTSEN
PARIS KNUTSEN	KNUTSEN
RAVENNA KNUTSEN	KNUTSEN
SAINT BARBARA	KNUTSEN

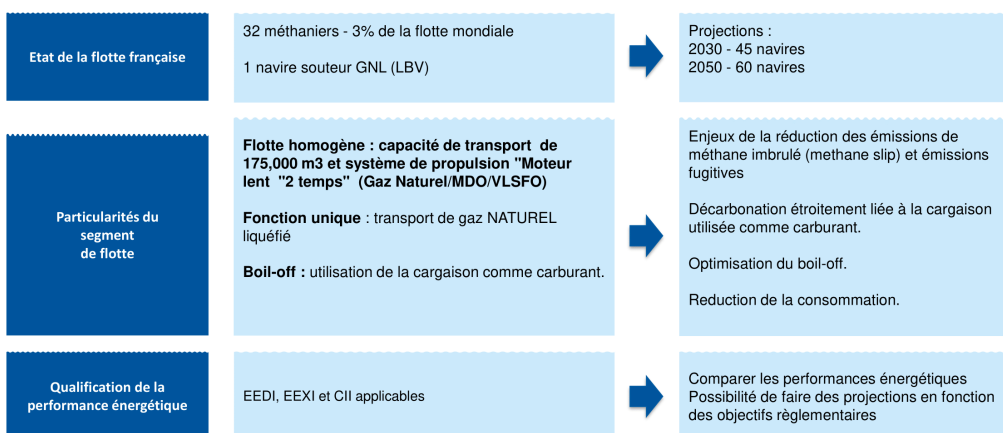
VSHIPS FRANCE

Gas Vitaly	MOL	VSHIPS
------------	-----	--------

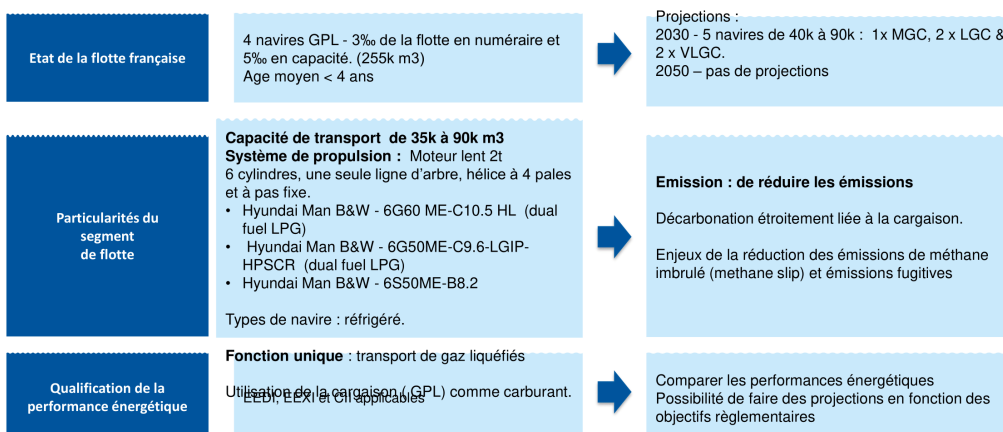
GEOGAS

FREYCINET	GEOGAS MARITIME	2022	53 471	57 748	14 369
JEAN RASPAIL	GEOGAS MARITIME	2022	53 471	58 300	14 369
LA CONDAMINE	GEOGAS MARITIME	2023	27 029	28 916	8 580
SURVILLE	GEOGAS MARITIME	2013	23 179	26 468	9 290

GT Navires transporteurs de gaz Propos liminaires METHANIERES



GT Navires transporteurs de gaz Propos liminaires navires transports de GPL



Caractéristiques de la flotte

	Methaniers	GPL	Bunkering Tanker
			
Type de navire (longueur, puissance, UMS)	92 800 T, 174 000 m ³ , Puissance propulsive : 22 900MW "Dual-fuel" two-stroke engine	2T Dual Fuel 54000 T - 90 000m ³ - Long. hors tout 173-180m 26000 T – 35 000m ³ Long. hors tout 173-180m	9400 T, 18 000m ³ Propulsion principale : 1750 MW
Répartition sur la façade	N/A	N/A	Méditerranée
Moyenne d'âge	3 ans	4 ans	3 ans
% de Construction française	0%	0%	0%
Consommation par type de combustible en 2022 (m ³)	252 700 MWh / navire / an Dont : 87% LNG 13% LSFO & MGO	Totalité flotte : 302 800 MWH Dont 25% GPL 75% Fuel	8700MWh Dont 25% Fuel 75% LNG
Consommation par façade 2022 (m ³ et port)	N/A	N/A	100% Méditerranée

Levier Efficacité énergétique Evaluation des leviers

Au cours de 8 ateliers, le GT a étudié les leviers énergétiques suivants:

Les leviers suivant n'ont pas été étudiés:

- **Branchement électrique à quai:** n'est pas exigé pour les navires transports de gaz liquéfié à court terme ou moyen terme.
- **Batteries:** traité par les autres GT
- **Bio methane/e-methane:** il faudrait que ces produits soient transportés à bord des navires, qui utilisent évaporation naturelle de leur cargaison comme carburant. Ce marché n'est pas à ce jour considéré par les acteurs comme suffisamment significatif.

LEVIERS	
Carburants Alternatifs	Fuelt Cell PEM
	Fuel cell SOFC
	Bio carburants
	Ammonia
	Méthanol
Propulsion Vélique	
Capture CO2	
Mesures Opérationnelles	Routage
	Trim optimisation
	Trim ballast optimisation
	Digital twins
	Voyage Opimisation
	Réduction de Vitesse
Mesures Design	Maintenance : anti fouling
	Predictive maintenance
	Engine Optimization
	Optimisation des formes
	Lubrification par air
	Rèvetements
	Alternateurs atelés
Reliquefaction	
système de propulsion DFDE+PAC	
Réuction du méthane slip	

Levier Efficacité énergétique Evaluation des leviers



Une évaluation a été réalisée en fonction des critères ci-dessous auquel est associé un barème (1 à 4)

Barème	Technique	Réglementaire	Opérationnel	Environnement	Financier
1	TRL <5	Pas de réglementation IMO ou classification	Incompatibilité avec l'opération du navire	pas de réduction des émissions	Capex et OPEX élevés
2	TRL < 5 Contraintes fortes pour implémentations à bord	Réglementation en cours de développement	Contraintes opérationnelles fortes	réduction des émissions < 10%	Capex élevés mais OPEX raisonnables
3	TRL > 5 Contraintes fortes pour implémentations à bord	Réglementation (guidelines) mais peut encore évoluer	Contraintes opérationnelles limitées	réduction des émissions < 30%	CAPEX et OPEX raisonnables
4	TRL > 5 Pas ou peu de contraintes	Réglementation existante et applicable	Pas contraintes opérationnelles	réduction des émissions jusqu'à 90%	Capex et OPEX faibles

Levier Efficacité énergétique Evaluation des leviers



Le résultat de cette évaluation est résumé par la matrice suivante:

LEVIERS		Scores					Total
		Techniques	Réglementaires	Opérationnels	Environnementaux	Financier	
Carburants Alternatifs	Fuel Cell PEM	3	3	2	4	2	14
	Fuel cell SOFC	3	3	2	4	2	14
	Bio carburants	2	2	2	4	1	11
	Ammonia	1	3	2	4	1	11
	Méthanol	4	3	2	2	3	14
Propulsion Vélique		3	3	2	4	2	14
Capture CO2		1	2	2	4	1	10
Mesures Opérationnelles	Routage						
	Trim optimisation	4	4	4	2	3	17
	Trim ballast optimisation						
	Digital twins						
	Voyage Optimisation						
Réduction de Vitesse	2	4	4	2	1	13	
Maintenance : anti fouling							
Predictive maintenance	4	4	4	2	3	17	
Engine Optimization							
Mesures Design	Optimisation des formes	4	3	4	2	3	16
	Lubrification par air	4	4	4	2	2	16
	Révetements	4	4	4	2	3	17
	Alternateurs atelés	4	4	3	3	3	17
	Reliquefaction	4	4	3	3	2	16
	système de propulsion DFDE+PAC	3	3	2	2	2	12
	Réaction du méthane slip	2	4	4	4	3	17

Levier Efficacité énergétique Evaluation des leviers



Deux categories emergent:

- Les leviers **mesures opérationnelles** et **mesures de design** qui peuvent être implémentés plus facilement, mais pour lequel les gains sur les émissions restent a priori limités,
- Les leviers **Propulsion Vélique, Capture de CO2 et carburants alternatifs**, qui nécessitent soit de gagner en maturité technologique, d'être disponibles sur le marché, un environnement réglementaire plus stabilisé, et une implémentation à bord qui entraîne moins de contraintes techniques ou opérationnelles. Leur CAPEX et/ou les OPEX doit être aussi optimisés. En revanche ces leviers sont plus efficaces en terme de reduction des émissions.

Levier Efficacité énergétique Carburants Alternatifs PAC



Levier	Description	Critères	Bénéfices	Difficultés	Potentiel estimé de réduction de GES	Construction Neuves	Retrofit	Type de navire	Commentaires
Carburant alternatifs	Fuel cell PEM	Technologie	TRL 2024:7 TRL 2030: 9 - Bon rendement	Stockage hydrogène - Volume de stockage important	20%	Construction Neuves	Retrofit	LNG/LPG/LBV	Fuel Cell PEM en remplacement d'un DG ou plusieurs DGs. Réduction potentielle des émissions estimées à 20% maximum.
		Réglementaire		- Réglementation maritime non stabilisée					
		Opérationnel	opération à basse température - Démarrage rapide (et bon suivi des changements de charge)	- Sensibilité à la pureté hydrogène (besoin d'un hydrogène pur), l'ajout d'un purificateur si l'hydrogène n'est pas produit par un électrolyseur. - Rejet d'hydrogène 3% au mix- Zone dangereuse, (cela n'est pas un point bloquant pour les transporteurs de gaz). - Forme de stockage : 2.0 Max mais la solution, n'est pas forcément adaptée aux gros navires pour la partie propulsion.					
		Environnement	- Pas d'émission (CO2, Nox, Sox,PM)						
		Financier	- OPEX ?	CAPEX élevé					
Carburant alternatifs	Fuel cell SFOC	Technologie	TRL 2024: 6 TRL 2030: 9 - Consomme the BOG du navire - Rendement 65% avec le projet d'atteindre 85%	Empreinte au sol importante	20%	Construction Neuves	Retrofit	LNG	Fuel Cell SFOC en remplacement d'un DG ou plusieurs DGs. Réduction potentielle des émissions estimées à 20% maximum. Consomme le Boil Off
		Réglementaire		- Réglementation maritime non stabilisée					
		Opérationnel		- Temps de démarrage : ~40 minutes de préchauffage - Mauvaise réaction aux changements de charges					
		Environnement	- Réduction des émissions de 30% par rapport au auxiliaires Diesel - Pas de méthane slip						
		Financier	- OPEX faibles car pas de maintenance pendant 10 ans.	CAPEX important (X3 vs une propulsion diesel conventionnelle)					

Levier Efficacité énergétique

Carburants Alternatifs Bio Carburants



Levier	Description	Critères	Bénéfices	Difficultés	Potentiel estimé de réduction de GES	Construction Neuves	Retrofit	Type de navire	Commentaires
Carburant alternatifs	Bio Carburants (FAME (fatty acid methyl ester), BTL biomass to liquid fuels, HVO (huile végétale hydrotraitee), ou HDRD (diesel renouvelable dérivé de l'hydrogénation))	Technologie	TRL 2024: 7 TRL 2030: 9 - les résultats ont montré que les performances du moteur étaient comparables à celles du diesel conventionnel (sur des applications terrestres),	Caractéristiques physiques et chimiques: ✓ Croissance microbienne ✓ Dégradation de l'oxygène ✓ Stockage pour une durée limitée ✓ Performance des moteurs sensible à la qualité des carburants et des réglages de certains paramètres	5%			LNG/LPG/LBV	Réduction des émissions GES estimée à 5% car le bio carburant remplacera le fuel pilot, qui représente une très faible contribution des émissions pour ce segment de flotte.
		Réglementaire		- Contraintes réglementaires pour l'utilisation comme carburant marin - MARPOL ne considère que les combustibles fossiles - Les moteurs doivent être certifiés, en usine avec mesures de Sox et Nox, (ou éventuellement à bord mais cela reste difficile). La certification reste donc compliquée à obtenir - Il n'existe pas actuellement de charte partie existante pour ce type de carburant.					
		Opérationnel		- Disponibilité : actuellement pas de disponibilité sur les points de soutages utilisés sur les routes maritimes. N'est pas adapté pour des navires au tramping ; éventuellement pour des navires sur des lignes fixes, avec point de soutage identifiés.					
		Environnement	- énergie respectueuse de l'environnement, non toxique et possédant des propriétés similaires au carburant diesel - les émissions des moteurs biodiesel indiquent de meilleurs résultats par rapport aux carburants fossiles (à confirmer pour les applications marines)						
		Financier		CAPEX: OPEX: Coût du carburant (3 fois supérieur au MDO)					

Levier Efficacité énergétique

Carburants Alternatifs Ammoniaque



Levier	Description	Critères	Bénéfices	Difficultés	Potentiel estimé de réduction de GES	Construction Neuves	Retrofit	Type de navire	Commentaires
Carburant alternatifs	Ammoniaque	Technologie	TRL 2024: 4 TRL 2030: 7 Le faible rapport air- carburant, stœchiométrique compense le PG de l'ammoniac qui est inférieur à celui de la plupart des autres carburants standards ; le contenu énergétique est alors comparable dans le cylindre	vélocité de flamme faible (par rapport aux autres carburants courants). Cela conduit à un processus de combustion plus lent, ce qui peut impacter le rendement. son énergie minimale d'inflammation d'environ 34 mJ est relativement élevée pour un gaz, ce rend difficile l'inflammation du mélange ammoniac/air. Il est nécessaire d'utiliser un prémélange avec un système d'allumage (pilot fuel).	80%			LNG/LPG/LBV	Réduction des émissions estimée à 80% si remplacement du fuel (Soit off) par l'ammoniaque comme carburant.
		Réglementaire							
		Opérationnel	Le stockage et la distribution du carburant sont similaires à celles du gaz de pétrole liquéfié (GPL).	Fortes toxicité aigüe, qui entraînera des conséquences sur la conception des systèmes de stockage, d'alimentation des moteurs et de post traitement. Gestion des fuites. Nécessité d'un personnel qualifié pour la manipulation du carburant et d'EPI adaptés.					
		Environnement	Pas d'émission de CO2. Sox Un rejet d'ammoniac dans l'environnement, même en grande quantité, n'entraîne aucun effet significatif à long terme. Il est facilement dilué et désintégré dans l'environnement (à confirmer)	Possibilité de production de N2O et d'ammoniac imbrûlé					
		Financier		CAPEX: OPEX: Coût du carburant (3 fois supérieur au MDO)					

Levier Efficacité énergétique Carburants Alternatifs Méthanol



Levier	Description	Critères	Bénéfices	Difficultés	Potentiel estimé de réduction de GES	Construction Neuves	Retrofit	Type de navire	Commentaires
Carburant alternatifs	Méthanol	Technologie	TRL 2024: 7	La position du mât de dégazage doit être définie en fonction de l'assiette et de la gîte. Le méthanol est plus lourd que l'air et retombe donc sur le pont. Il existe des solutions innovantes de dévent sous la	10%			LNG/LPG/LBV	Peu d'intérêt si ce n'est pas du méthanol vert car carburant secondaire nécessitant du fuel pilote.
			TRL 2030: 9						
		Densité énergétique comme l'ammoniac	Etude de dispersion : zones de gaz plus importantes (sur des gaziers pas vraiment un souci) ; les études doivent être réalisées aussi en thermique.						
		Réglementaire							
		Opérationnel	Stockage à T ambiante Moins de volume utilisé que les CNL Retour d'expérience sur le transport	Gas toxique Le méthanol est à l'état liquide jusqu'à 64°C et se vaporise au-delà. Disponibilité/Soutage					
Environnement		10% de CO2 de moins si c'est du méthanol pas green (GNL 20%)							
Financier		Coût élevé							

Levier Efficacité énergétique Propulsion Vélique



Levier	Description	Critères	Bénéfices	Difficultés	Potentiel estimé de réduction de GES	Construction Neuves	Retrofit	Type de navire	Commentaires
Propulsion Vélique	Kite, voile, etc	Technologie	TRL 2024: 5	Equipement ATEX	25%			LNG/LPG/LBV	Estimation des réductions de GES estimé à 25%, cela varie entre 5% 30% selon les technologies d'assistance vélique choisies.
			TRL 2030: 7						
		Diminue le besoin d'énergie donc possibilité d'utiliser du bio fuel peu disponible.	Réglementation aérienne à respecter dans certains cas.						
		Réglementaire							
		Opérationnel	Bonne image Plus grande autonomie Moins de soute donc plus de cargaison	Il faut routage météo associé pour en tirer un avantage. Atlas Climatique : Pas exploitable sur toute les lignes ; privilégier transat et trans pacifique ; Routage Météo adapté nécessaire •Conditions d'utilisation : Chenalage/ zone à fort trafic... •Maintenance : Débarquement de la voile compliqué Problème de gestion du boat off					
Environnement	Energie renouvelable et inépuisable, non fossile EEDI amélioré								
Financier									

Levier Efficacité énergétique Capture CO2



Levier	Description	Critères	Bénéfices	Difficultés	Potentiel estimé de réduction de	Construction Neuves	Retrofit	Type de navire	Commentaires
Capture CO2	Absorption par solvant	Technologie	TRL 2024: 5	Stockage à bord du CO2	90%	Construction Neuves	Retrofit	LNG/LPG/LBV	Réduction des émissions estimée à 90% mais non démontrée à ce jour.
			TRL 2030: 8						
		Réglementaire							
		Opérationnel	-Utilisable pour la propulsion et production électrique -Utilisable avec tous les types de fuel -Jusqu'à 90% du CO2 produit peut être capté	-Logistique de débarquement -Gestion du Solvant, y compris son débarquement.					
		Environnement							
Financier		-OPEX CAPEX important							

Levier Efficacité énergétique Mesures Opérationnelles



Levier	Description	Critères	Bénéfices	Difficultés	Potentiel estimé de réduction de GES	Construction Neuves	Retrofit	Type de navire	Commentaires
Mesures Opérationnelles	Routeage Trim optimisation Digital twins Voyage Optimisation	Technologie	TRL 2024: 9	Fiabilité: Qualité des données ou manque de numérisation Efficacité sur route régulière	15%	Construction Neuves	Retrofit	LNG/LPG	Réduction des émissions est estimée jusqu'à 15% en combinant les leviers opérationnels. Gestion difficile des interactions entre les différents leviers.
			TRL 2030: 10						
		Réglementaire	Conformité / SEEMP Plan de gestion de l'efficacité énergétique des navires						
		Opérationnel		Formation, requalification					
		Environnement	Réduction des émissions et de la consommation Gains estimés 15%						
Financier									

Levier Efficacité énergétique Mesures Opérationnelles



Levier	Description	Critères	Bénéfices	Difficultés	Potentiel estimé de réduction de GES	Construction Neuves	Retrofit	Type de navire	Commentaires
Mesures Opérationnelles	Réduction de Vitesse	Technologie	TRL 2024: 5	Adaptation du navire (design, moteurs, etc.) au profil de vitesse sélectionnés pour obtenir une réduction des émissions	15%			LNG/LPG	Mesure peu efficace car Augmentation du nombre de navires est nécessaire pour transporter la même quantité de marchandise. Réduction des émissions est estimée jusqu'à 15 % en combinant les leviers opérationnels.
			TRL 2030: 5						
			Possibilité de mise en œuvre à court terme						
		Réglementaire	Conformité / SEEMP Plan de gestion de l'efficacité énergétique des navires						
		Opérationnel							
Environnement	Réduction des émissions et de la consommation Gains estimés jusqu'à 15 % en combinant les leviers opérationnels								
Financier		Augmentation du nombre de navires pour transporter la même quantité de marchandise.							

Levier Efficacité énergétique Mesures Opérationnelles



Levier	Description	Critères	Bénéfices	Difficultés	Potentiel estimé de réduction de GES	Construction Neuves	Retrofit	Type de navire	Commentaires
Mesures Opérationnelles	Maintenance : anti fouling Predictive maintenance Engine Optimization	Technologie	TRL 2024: 8		15%			LNG/LPG/LBV	Réduction des émissions est estimée jusqu'à 15 % en combinant les leviers opérationnels.
			TRL 2030: 10						
			Possibilité de mise en œuvre à court terme						
		Réglementaire	Conformité / SEEMP Plan de gestion de l'efficacité énergétique des navires						
		Opérationnel							
Environnement	Réduction des émissions et de la consommation Gains estimés jusqu'à 15 % en combinant les leviers opérationnels								
Financier									

Levier Efficacité énergétique Mesures de Design



Levier	Description	Critères	Bénéfices	Difficultés	Potentiel estimé de réduction de GES	Construction	Retrofit	Type de navire	Commentaires
Mesures de Design	Optimisation des formes	Technologie	TRL 2024: 7 TRL 2030: 8 Les designs sont généralement adaptés à un profil, un tirant d'eau et une vitesse	La réglementation EEDI actuelle ne tient pas compte de la réalité d'exploitation des navires.	15%	Neuves	Retrofit	LNG, LPG, LBV	N/A en retrofit Réduction des émissions est estimée de 5% jusqu'à 15%.
		Règlementaire							
		Opérationnel							
		Environnement							
		Financier							

Levier Efficacité énergétique Mesures de design



Levier	Description	Critères	Bénéfices	Difficultés	Potentiel estimé de réduction de GES	Construction	Retrofit	Type de navire	Commentaires
Mesures de Design	Lubrification par air	Technologie	TRL 2024: 8 TRL 2030: 9 Adaptées aux gaziers car tirant d'eau pas important et la forme de la carène permet une bonne injection d'air.	consommation électrique importance (utilisation d'un groupe en plus qui produit du méthane slip) adapté avec un alternateur attelé consommation électrique importance (utilisation d'un groupe en plus qui produit du méthane slip) adapté avec un alternateur attelé	8%	Neuves	Retrofit	LNG/LPG	Pratique courante aujourd'hui. Solution adaptée aux gaziers car tirant d'eau pas important et la forme de la carène permet une bonne injection d'air.
		Règlementaire							
		Opérationnel							
		Environnement							
		Financier							

Levier Efficacité énergétique Mesures de design



Levier	Description	Critères	Bénéfices	Difficultés	Potentiel estimé de réduction de GES	Construction Neuves	Retrofit	Type de navire	Commentaires
Mesures de Design	Rivêtements	Technologie	TRL 2024: 8 TRL 2030: 9 Anti-Fouling selection: type and thickness specifications (Tc, VF, Speed)		5%			LNG/LPG	
		Réglementaire							
		Opérationnel							
		Environnement							
Mesures de Design	Alternateurs atelés	Technologie	TRL 2024: 8 TRL 2030: 9		15%			LNG/LPG	Réduction estimée à 15% car élimination des émissions liées à la consommation des groupes électrogènes en mer.
		Réglementaire							
		Opérationnel	Etudier la puissance: De façon que l'hôtel load en mer puisse être alimenté par les alternateurs atelés, sans avoir à démarrer un groupe. Adapter le couple et la MCR lors du design du navire si il est équipé d'un alternateur atelé						
		Environnement	Diminue le méthane slip car le méthane slip, qui est plus produit par moteur 2t que par les 4 t.						
		Financier							

Levier Efficacité énergétique Mesures de design



Levier	Description	Critères	Bénéfices	Difficultés	Potentiel estimé de réduction de GES	Construction Neuves	Retrofit	Type de navire	Commentaires
Mesures de Design	Requalification	Technologie	TRL 2024: 9 TRL 2030: 9		5%			LNG/LPG/LBV	Réduction estimée à 5% car cela permet de limiter l'utilisation du GCU.
		Réglementaire							
		Opérationnel	Unité standard sur les méthaniers qui permet de limiter l'usage du GCU						
		Environnement							
Mesures de Design	système de propulsion DFDE-PAC	Technologie	TRL 2024: 5 TRL 2030: 7	le stockage de l'hydrogène à bord	20%			LNG/LPG/LBV	Aujourd'hui la majorité des navires méthaniers sont équipés d'une propulsion avec un moteur lent au gaz. Une propulsion DFDE permettrait d'offrir plus de flexibilité et permettrait de pouvoir transformer un groupe en pile à combustible, même en retrofit. Réduction estimée à 20% car remplacement d'un ou plusieurs Dgs.
		Réglementaire							
		Opérationnel	le stockage de l'hydrogène à bord						
		Environnement							
		Financier							
Mesures de Design	Réduction du méthane slip	Technologie	TRL 2024: 5 TRL 2030: 7		10%			LNG/LPG/LBV	Parmi tous les leviers la réduction du méthane slip est le plus efficace pour la décarbonation. Il est estimé à 3% pour les moteurs 2T et 10% pour les moteurs 4T. Il sera intégré dans l'ETS en 2025
		Réglementaire							
		Opérationnel							
		Environnement							
Financier									

Thématiques particulières à travailler (*infrastructure, réglementation, formation, financement...*)

Fuel Cell PEM	<p>Poursuivre les développements pour confirmer la faisabilité de l'utilisation des fuel Cell à bord des navires gaziers.</p> <p>Développer les solutions de stockage hydrogène et de soutage d'un point de vue technique et réglementaire.</p> <p>Assurer la formation des équipages et des autorités portuaires à l'utilisation de l'hydrogène.</p> <p>Faciliter le suramortissement due à l'implémentation de cette technologie à bord.</p> <p>Soutenir la filière française hydrogène.</p>
Propulsion vélique	<p>Déployer des démonstrateurs à bord des gaziers pour confirmer la faisabilité et l'efficacité de l'assistance vélique.</p> <p>Assurer la formation des équipages à l'utilisation de ces technologies.</p> <p>Associer une solution de routage efficace à la solution vélique.</p> <p>Faciliter le suramortissement due à l'implémentation de cette technologie à bord.</p> <p>Soutenir la filière française.</p>
Carbone Capture	<p>Déployer des démonstrateurs à bord des gaziers pour confirmer la faisabilité de la technologie.</p> <p>Développer les solutions de stockage à bord et les infrastructures pour le déchargement du CO2.</p> <p>Assurer la formation des équipages à l'utilisation de ces technologies.</p> <p>Faciliter le suramortissement due à l'implémentation de cette technologie à bord.</p>
Carburants alternatifs	<p>Poursuivre les développements techniques des moteurs pour s'adapter aux carburants alternatifs.</p> <p>Assurer la disponibilité des carburants à un cout compétitif.</p> <p>Développer la chaine d'approvisionnement et de soutage des carburants.</p> <p>Amender la réglementation pour faciliter l'utilisation des carburant à bord des navires en toute sécurité.</p> <p>Assurer la formation des équipages et des autorités portuaires à l'utilisation des carburants alternatifs.</p>

Démonstrateurs à déployer

Démonstrateur 1	Carbone capture	
Démonstrateur 2	Propulsion vélique	

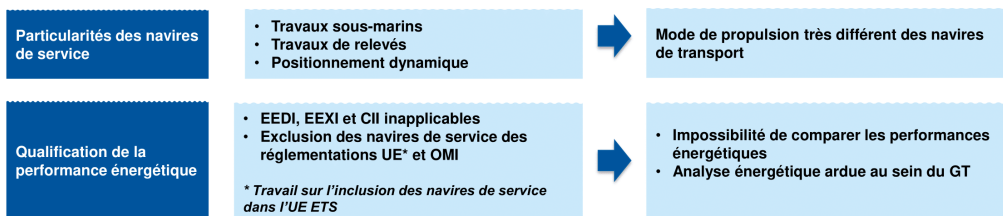
Thématiques particulières à travailler (*infrastructure, réglementation, formation, financement...*)

Reduction du Méthane Slip	<p>Poursuivre les développements techniques des moteurs pour diminuer le méthane slip.</p>

3. Groupe de travail « Grands Navires de Services »



GT grands navires de service Propos liminaires





GT grands navires de service Caractéristiques des flottes

	Les Abeilles	Genavir - Ifremer	Orange marine	GPM Nantes-St Nazaire	LDA - ASN
Type de navire	4 remorqueurs de sauvetage et d'assistance 1 navire lutte pollution 1 remorqueur de manutention d'ancre	4 navires océanographiques (571, 2803, 3559 et 7854 UMS)	6 câbliers (2 installation, 3 maintenance, 1 polyvalente), 1 navire de survey	Drague aspiratrice en marche	10 câbliers 3 SOV 1 cargo/océano (M.D.)
Répartition sur la façade	Boulogne sur Mer, Cherbourg, Brest, Toulon AHTS : marché du spot faç. atlant et med	Atlant. Nord/équatorial, Caraïbes, Pacifique, Nouvelle Calédonie	Worldwide, mais bases marine de Brest et de la Seyne-sur-mer + dépôt Catane (Sicile)	50% Nantes St Nazaire 50% Rouen / Le Havre	SOV: auj. Europe nord (hors France) Câbliers: worldwide (usine Calais)
Moyenne d'âge	17 ans	26 ans	10,6 ans	22 ans	20 ans
Construction française	0%	100% sauf futur NHS (Espagne) et Michel Rocard (UE)	0% sur les navires RIF 14% sur l'ens de la flotte	0%	0%
Consommation totale 2022	7001 m3	5 849 900 L	18155 m3 de MDO	MGO : 1200m3 GNL : 380 m3	66 963 mt
Consommation par façade 2022	Façade manche/atlant : 4089 m3 Façade médit : 2912 m3	30% Brest, 30% Toulon, 40% worldwide	Brest : 2250 m3 MDO Seyne : 2000 m3 MDO	50%/50%	10 % Calais, 30 % Europe, 60 % Worldwide (hors Marion Dufresne: 5000t à La Réunion)



Levier Efficacité énergétique Réduction de la traînée

	Les Abeilles	Genavir - Ifremer	Orange marine	LDA-ASN	
RETROFIT	Revêtement des carènes	Période importante à quai, difficile d'aller dans cette direction Etudes en cours sur la prévention du fouling par ultrason.	Pas très impactant	Nettoyage de la carène : passage de 5ans d'inter-carénage à 2.5ans Nettoyage de la carène à flot	Peintures antifouling incompatibles avec les faibles vitesses d'opération (câblier 4nds, SOV 6 nds) A suivre
	Modification du bulbe	NA	Pas compatible avec les navires océano		Nécessité propulseurs d'étrave => pas de bulbe effilé. Intérêt qu'en transit
	Modification de l'étrave	NA	A expertiser. Attention portée au bullage des équipements acoustiques sous coque		Bullage possible pour transit câbliers + M. Dufresnes Remplacement hélices/tuyères par profils + techn. améliorés par simulation num.
CONSTRUCTION NEUVE	Optimisation des formes	Chaque navire a une coque unique adaptée à l'exploitation Affinement des formes d'hélices Possibilité ajout de volets sur les propulseurs transverses d'étraves	Optimisation en bassin de carène	Essais en bassin de maquettes avec itération pendant le design du navire	Revêtement de la carène : idem Optimisation maximale de la résistance du navire (travail des formes navire/largeur). Affinement des formes et rendement d'hélices/tuyères. Bullage sous coque : idem



Levier Efficacité énergétique Optimisation du rendement propulsif

	Les Abeilles	Genavir - Ifremer	Orange marine	GPM Nantes St Nazaire	LDA - ASN
RETROFIT	Propulseurs innovants : NA	Propulseurs innovants	Remplacement des propulseurs à pales variables par des propulseurs à pales fixes/vitesses variables (cas applicable au Descartes)	Propulseurs innovants	Possibilité de réduction de la puissance réactive sur les navires conçus dans les années 2000 (remplacement des convertisseurs). Remplacement des propulseurs principaux sur les diesel-électriques des années 1990.
CONSTRUCTION NEUVE	Difficile pour remorqueurs de sauvetage car besoin de beaucoup de traction, possible sur les autres navires	Propulsion électrique – DA électriques sur tous les navires.	Hybridation de la propulsion pour avoir une redondance GE/Batteries à la place de GE/GE Hybridation de la propulsion pour faire du Peak Shaving		Propulseurs innovants à meilleur rendement (propulsion diesel-électrique) comme les propulseurs trochoïdaux.

Armateurs de France



Levier Efficacité énergétique Optimisation de la consommation d'énergie à bord

	Les Abeilles	Genavir - Ifremer	Orange marine	LDA - ASN
RETROFIT	Dès que possible passage éclairage en LED	Branchement à quai: en cours, mais ports peu équipés pour les puissances	Installer une connexion au courant quai sur tous nos navires	Recalibrage des besoins chaudière. Retrofit des batteries de climatisation par des solutions HVAC plus efficaces (ex. : pompes à chaleur). Optimisation par installation d'équipements moins énergivores et moins puissants ou permettant d'ajuster la charge au juste besoin. Réutilisation chaleur fatale : ex. : ORC, TEG (Thermal Electric Generator) à effet Peltier-Seebeck. Éclairage : intégralement LED Gros moteurs électriques : utilisation de varia-teurs de fréquence Mise en place de VPMS (vessel performance monitoring system) pour un suivi factuel à haute fréquence de la génération et consommation d'énergie. Logiciel ESG (gestion de l'énergie) déjà à bord des navires en gestion LDA
CONSTRUCTION NEUVE	Optimisation des équipements, parc de batterie pour absorber les peaks de tension	Remplacement de l'hydraulique par de l'électrique (treuils de travail). Optimisation consommation climatisation/ventilation/éclairage. Batteries de puissance : peak shaving et back-up opérationnel (évite le démarrage systématique d'un DA supplémentaire).	Avoir 1 étage pertinent des puissances disponibles par GE suivant l'utilisation du Navire Avoir une connexion au courant quai universelle 50/60Hz	Remplacement de l'hydraulique par de l'électrique (treuils de travail). Optimisation consommation climatisation / ventilation / éclairage. Amélioration de l'isolation (choix des matériaux et application). Réutilisation chaleur fatale : idem Éclairage : idem Gros moteurs électriques : idem Mise en place de VPMS : idem Système de stockage d'énergie (ESS – energy storage system : batteries de puissance, volants d'inertie, supercondensateurs) : peak shaving et back-up opérationnel (évite le démarrage systématique d'un DG supplémentaire). Devenu un standard de l'industrie sur quasiment tous les navires de service à positionnement dynamique.



Levier Exploitation Excellence opérationnelle et sobriété

RETROFIT & CONSTRUCTION NEUVE	Les Abeilles	Genavir - Ifremer	Orange marine	LDA - ASN
EXCELLENCE OPERATIONNELLE	optimisation vitesse/conso : propulsion hybride, routage météo	Routing météo : sur les transits longs identifiés.	Avoir les performances nécessaires pour travailler dans toutes les conditions acceptables pour réduire les downtimes météo	Routage météo : sur les transits longs identifiés. Routage d'autant plus efficace qu'il prend en compte les vents et les courants (peu de sociétés proposent aujourd'hui les deux).
SOBRIETE & REDUCTION DE LA VITESSE	Réduction de la vitesse sur transit ou patrouille	Travail sur le SEEMP et la notion de vitesse optimale.	Faire accepter aux clients : transit à P constante et non à V constante. Maintenir bollard pull 60T pr éviter de surconsommer même si demande client évolue vers BP 80T pr amélioration performance ensouillage cables.	Utilisation de solution d'aide à la décision pour un ajustement optimal de l'assiette et tirant d'eau.



Levier Exploitation Nettoyage de coque et des hélices

RETROFIT & CONSTRUCTION NEUVE	LDA - ASN
NETTOYAGE DE COQUE	Evaluation du niveau de salissure des coques très régulier. Possibilité de développement de nouveaux services. Nettoyage très régulier de la coque par plongeurs ou robot sous-marin : préférable avec peinture antifouling adaptée (matrice dure) Problématique de la gestion des déchets.
NETTOYAGE DES HECILES	Polissage des hélices à flot très régulièrement.





Levier Energies et Infrastructures

Energies fossiles moins carbonées et transitoires GNL

GNC non envisageable

	Genavir - Ifremer	LDA - ASN
RETROFIT		Retrofit très (trop) couteux.
CONSTRUCTION NEUVE	GNL: Difficultés sur le volume nécessaire pour une autonomie similaire. Point à regarder pour les nouveaux navires suivant façades concernées. Moteur dual fuel: Piste intéressante pour les zones protégées, mais non existants sur le marché pour les petites puissances.	Difficultés sur le volume nécessaire pour une autonomie similaire. Point à regarder pour les nouveaux navires suivant façades concernées. Plutôt piste en moteur dual fuel (Diesel / GNL).



Levier Energies et Infrastructures

Biocarburants

	Genavir - Ifremer	Orange marine	LDA - ASN
RETROFIT	Diesel supérieur à B7 : Essais en cours sur encrassement des filtres et régulation. Problème de distribution et de coût.	Intéressé mais pour l'instant difficile à approvisionner	Tests réalisés sur certains moteurs avec du B100. Niveaux d'encrassement corrects mais problématiques à long terme. Test réalisés sur l'île de Bréhat avec du B30. RAS.
CONSTRUCTION NEUVE	Diesel supérieur à B30 : Etude en cours sur encrassement des filtres et régulation. Problème de distribution, de coût.		Sélectionner des moteurs pouvant consommer plusieurs types de biocarburants à 100 % (B100)





Levier Energies et Infrastructures E-carburants: Méthanol & ammoniac

	Les Abeilles	Genavir - Ifremer	Orange marine	LDA - ASN
RETROFIT	Adaptation au E-Méthanol envisagé			E-méthanol: Retrofit très (trop) couteux, voire techniquement impossible.
CONSTRUCTION NEUVE	Propulsion par E-Methanol ou Ammoniac selon degré de maturité technologique et disponibilité carburant	Méthanol/Bio-Méthanol : Problème de distribution et de coût. Point éclair assez bas à 12°C. Manque de réglementation. Moins complexe à intégrer que le GNL pour des petits volumes. Intérêt moteur dual fuel Ammoniac: Gaz très dangereux et très toxique avec un très fort impact carbone en cas de fuite. L'encombrement des soutes à carburant est une contrainte majeure compte-tenu de la faible densité énergétique de l'ammoniac. Intérêt moteur dual fuel	Intéressé mais pour l'instant difficile à approvisionner	Méthanol / Bio-Méthanol : Problème de disponibilité, de distribution (à développer avec les autorités portuales) et de coût. Point éclair assez bas à 12°C. oins complexe à intégrer que le GNL pour des petits volumes, possible pour les SOV mais probablement trop encombrant pour les câbliers Gaz très dangereux et très toxique avec un très fort impact sur l'effet de serre en cas de fuite. Rendement des moteurs médiocre ; possibilité lointaine d'utiliser des PAC à haute température. La réglementation n'est pas encore mature, donc difficile de se lancer dans de tels projets à ce stade. Meilleur encombrement que l'H2



Levier Energies et Infrastructures Electrification - hybridation

	Les Abeilles	Genavir - Ifremer	Orange marine	LDA -ASN
RETROFIT	Branchement: Passage sur courant de quai de l'ensemble de la flotte	Branchement quai: en cours, mais les ports peu équipés avec nos puissances. Habrydation: Déjà une architecture électrique à la prop pour améliorer le bruit rayonné et la manœuvrabilité.		Branchement à quai : - Projet en cours pour le terminal de chargement d'ASN à Calais sans le concours du port de Calais. A l'étape de la définition du besoin et d'identification de la solution technique. - Projet de dépôt de maintenance à Dunkerque. Hybridation: La majorité des navires de service avec DP est construit avec une architecture électrique pour la propulsion afin d'améliorer le bruit rayonné et la manœuvrabilité (souplesse et réactivité aux états de la mer).
CONSTRUCTION NEUVE	Courant de quai, propulsion hybride, parc de batterie pour absorber les peak de tension	Batteries pour assurer la redondance du DG au lieu d'un second DG. Architecture électrique en bus DC haute tension (bus continu) pour faciliter l'alimentation des gros consommateurs électriques (treuils...) et la régénération électrique en freinage.	L'hybridation Gasoi/Electrique est réellement efficace pour des câbliers neufs.	ESS pour assurer la redondance au lieu d'un second DG à faible charge (cf. Optimisation de la consommation d'énergie à bord ci-dessus). Architecture électrique en bus DC (bus continu) pour faciliter l'intégration de l'ESS, réduire la puissance réactive, l'alimentation des gros consommateurs électriques (moteurs de propulsion, treuils...) et la régénération électrique en freinage. Pour les SOV : ESS dimensionné pour opérations dans les champs éoliens intégralement électriques avec recharge en mer.



Levier Energies et Infrastructures Propulsion par le vent

	Les Abeilles	Genavir - Ifremer	Orange marine	LDA-ASN
RETROFIT	Participation au développement de la propulsion par aile de Kite avec la société Beyond The Sea			Peu de possibilité en rétrofit, navires très compacts sans beaucoup de place pour installer les piédestaux nécessaires. Assistance vélique par kite : à évaluer sur câbliers pendant les transits, si un système est validé (tous sont en cours de développement).
CONSTRUCTION NEUVE	Propulsion par Kite	Études en cours, difficulté pour trouver le bon compromis système/opérabilité du navire (lieux très variés, peu de transits longs, fardage induit compliqué et espace de travail à conserver). Difficultés à avoir de la part des fournisseurs de valeurs faibles de gain. Appoint lors des transits. De ce fait, les gains sont minimes sur nos navires. Néanmoins, GT de navire océano-vélique en cours pour affiner les conclusions sur ce point.	A évaluer	Études en cours, difficulté pour trouver le bon compromis système/opérabilité du navire (lieux très variés, peu de transits longs, fardage induit compliqué et espace de travail à conserver). Utile uniquement en transit. De ce fait, les gains sont réduits. Assistance vélique par kite : idem



Levier Energies et Infrastructures Hydrogène

	Les Abeilles	Genavir - Ifremer	Orange marine	LDA - ASN
RETROFIT		Possibilité de PACK pile à combustibles à H2 pour production courant quai dans les ports non équipés.		Possibilité de branchement à quai sur des PAC H2 pour production courant quai dans les ports non équipés de courant quai. Retrofit H2 : peut être envisagé sur le pont pour un SOV (comme source limitée d'énergie).
CONSTRUCTION NEUVE	Via e-méthanol	Hydrogène : participation au projet REDII Bretagne. Difficultés du stockage à bord incluant l'aspect sécuritaire fort sur ce gaz, le volume plus important (mini x4 hors pile) et donc une autonomie plus faible. Problème d'approvisionnement (pas de possibilité de créer la chaîne d'approvisionnement) et coût. Peut-être possible sur des navires de façade, mission courte et soutage à un port fixe.	A évaluer	Etude complète réalisée pour un client de navire SOV démontrant la faisabilité de la solution H2 pour une autonomie de 2 jours, l'hydrogène étant produit et souté directement au sein du champ éolien offshore. Solution non développée encore du fait de l'absence d'installation d'hydrolyseurs dans les champs offshore existants. Une autre solution avec soutage à quai est aussi à l'étude. Possibilité de branchement à quai sur des PAC H2 : idem Difficultés du stockage à bord incluant l'aspect sécuritaire fort sur ce gaz, le volume plus important (mini x4 hors pile) et donc une autonomie plus faible. Problème d'approvisionnement (pas de possibilité de créer la chaîne d'approvisionnement) et coût. Peut-être possible sur des navires de façade, mission courte et soutage à un port fixe, type SOV sur champ éolien européen.





Levier Energies et Infrastructures Nucléaire

LDA - ASN	
RETROFIT	Retrofit impossible.
CONSTRUCTION NEUVE	A moyen/long terme (10-15 ans), on peut espérer que l'un des développements en cours (typiquement réacteur à sel fondu – molten salt) sera approuvé. Cela pourrait constituer une très bonne solution pour les câbliers de pose et le successeur du Marion Dufresne. Néanmoins restera le sujet de l'acceptabilité sociale de cette solution, et surtout l'adaptation nécessaire du corpus réglementaire mondial en la matière (conventions portant sur le transit et les escales de navires à propulsion nucléaire).



Scenarios d'évolution de la flotte Les Abeilles

Branchement sur courant de quai de la totalité de nos navires (déjà 3 navires connectés), devrait permettre une économie de consommation gasoil d'au moins 30% (sur les navires pas encore branchés) :

L'Abeille Normandie basée à Boulogne sur mer passe environ 70% de son temps à quai, soit 35% de sa consommation annuelle de gasoil.
=> Besoin de disponibilité de courant de quai idéalement en 690V ou 440V, 60 Hz mais nous pouvons convertir la fréquence et la tension (car à priori le courant fourni sera en 380V / 50 Hz). La puissance minimum à fournir est de 300 KW
Le besoin en financement pour pouvoir connecter le navire par couplage sur courant de quai est d'environ 300 k€

L'Abeille Bourbon basé à Brest passe environ 85% de son temps à quai,
=> Besoin de disponibilité de courant de quai en 380V, 50 Hz, avec un ampérage de 500A, et une puissance moyenne de 160 KW.
Le besoin en financement pour pouvoir connecter le navire par couplage sur courant de quai est estimé entre 150 et 200 k€

Partenariat de développement en cours avec la société Beyond the Sea pour le déploiement de Kite. Le système va être installé à bord au printemps et durant l'été. Premiers essais à l'automne avec une aile de 50 m², puis augmentation de la taille de l'aile sur les années suivantes pour arriver à 400 m².

En ce qui concerne le verdissement de sa flotte, outre **les problèmes techniques** que rencontrent tous les armateurs, LES ABEILLES est soumis aux contraintes supplémentaires suivantes :

- Pour le renouvellement ou le retrofit, les Abeilles est soumis aux critères imposés par les cahiers des charges des appels d'offres de la Marine Nationale. Sans mécanisme d'aide, elle ne peut financièrement pas soutenir des surcoûts environnementaux car sinon nous n'avons aucune chance de les remporter
- Propulsion vélique compliqué (hormis Kite) car nos navires rencontrent des conditions météo extrêmes difficilement incompatible avec la portance des mats (même sans voile)
- Programme d'exploitation aléatoire car une opération de sauvetage peut durer 1 journée comme 1 mois





Scenarios d'évolution de la flotte Les Abeilles

Avec comme préambule ce qui a été dit ci-dessus, la stratégie de renouvellement de flotte est donc liée aux échéances contractuelles avec la Marine Nationale et si ceux-ci le permettent nos futurs navires devraient proposer les optimisations suivantes :

- Propulsion hybride (pour ajuster au mieux les différences opérationnelles entre patrouille à faible charge et puissance élevée requise pour opérations (vitesse et Bollard Pull))
- Réduction de la vitesse de patrouille, dépendant cependant des ordres du préfet Maritime.
- Amortissement des peaks électriques par rack de batterie pour limiter la taille des groupes électrogènes
- Moteurs principaux et groupes électrogènes fonctionnant au E-méthanol ou à l'ammoniac selon la maturité de production de ces combustibles
- Branchement sur courant de quai
- Routage météo



Scenarios d'évolution de la flotte Génavir - Ifremer

La feuille de route de renouvellement des navires océanographiques est en cours de réalisation et sera disponible mi 2024.

- Nouveau navire : NSH entrée en flotte en 2025 à la capacité à mi-vie (2045) d'être jumboisé pour changement de propulsion/d'énergie si une technologie est mature à ce moment-là.
- Navire Michel Rocard : arrivée en flotte en 2027. Ce navire devra répondre au code Polaire et aux réglementations australiennes. Une étude est en cours sur le système propulsif possible.
- Remplacement de l'Atalante : Probablement, 2030-2032, une réflexion est amorcée pour y inclure une propulsion la moins impactante possible et compatible avec l'activité.

Une réflexion est en cours avec les utilisateurs (la communauté scientifique) pour modifier les usages ou la répartition dans le temps des différentes campagnes récurrentes tout en conservant les objectifs scientifiques, par exemple :

- développement de la télé science (moins de personnes embarquées => navire plus petit?)
- complément des campagnes avec des USV et AUV pour obtenir des données avec un support moins impactant. Cet usage est possible sur certains type de données seulement.
- ajustement des usages avec une miniaturisation des capteurs et minimisation des prélèvements.
- développement d'un voilier pour de la science extra-légère - GT de navire océano-vélique en cours pour affiner les orientations scientifiques possibles.





Scenarios d'évolution de la flotte Orange marine

Nouveau navire hybride Gasoil/Électrique avec capacité à utiliser les courants quais, carène optimisée et puissance étagée. Identifier si l'apport d'un système vélique rétractable est réaliste.

Étudier les solutions de financement de ce type de navire si elles existent.

Améliorer le câblier René Descartes pour avoir une connexion avec le courant terre 50/60Hz et des propulseurs transversaux à vitesse variable moins consommateurs.



Scenarios d'évolution de la flotte GPM Nantes St Nazaire

Les scénarios d'évolution de la flotte ne sont pas définis à ce stade. Du fait des caractéristiques de notre activité et de l'âge de la drague, une construction neuve est envisagée d'ici 2032. Les leviers probables seront :

- Efficacité énergétique des navires
- Exploitation
- Biocarburant/E-carburant
- Branchement à quai



Scenarios d'évolution de la flotte LDA - ASN

1 : facile / relativement facile (peut être cher, ex. : tourner au HVO)
2 : modérément difficile ou cher
3 : difficile et/ou très cher

Scénario 1 : retrofit complet câblier coréen

- modifications pour courant de terre à Calais - 2
- consommer du B30 - 1
- système de routage météo et courants - 1
- changement des convertisseurs de propulsion - 3
- installation de systèmes de récupération de chaleur fatale - 2
- ajout d'un kite sur la plage avant - 3
- bullage sous coque - 2
- antifouling à matrice dure - 1

Scénario 2 : retrofit SOV

- consommer du HVO (solution déjà validée par le motoriste MAN) - 1
- augmenter fortement la taille du pack batteries (passer de 400 kWh à plusieurs MWh), adapter pour s'alimenter sur un système de recharge électrique en mer (responsabilité de l'opérateur du champ) et rester autant que possible complètement sur batteries lorsque le navire est à l'intérieur du champ éolien - 3
- PAC avec H2 sur le pont (responsabilité de l'opérateur du champ qui doit alors fournir de l'H2 à partir d'hydrolyseurs installés au sein du champ éolien lui-même) - 3

Scénario 3 : construction neuve câblier : prendre plus ou moins tout ce qui est listé.

Armateurs de France



Thématiques particulières à travailler

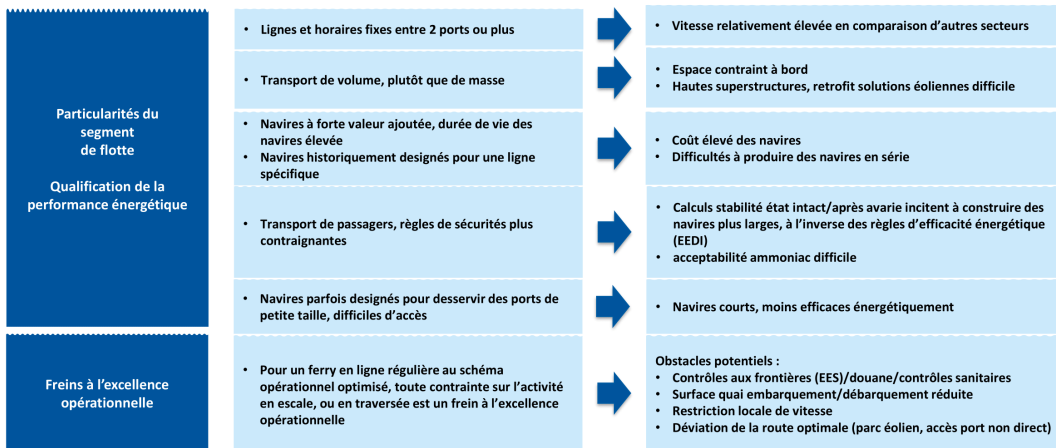
Les Abeilles	Besoin de disponibilité de courant de quai principalement sur Boulogne sur mer et Brest
Génavir - Ifremer	Infrastructures électriques: branchement Réglementation à adapter aux technologies: SOLAS, div 215... Distrib nouveaux carburants, carto distrib GNL, Méthanol, Ethanol, Biogasoil, H2 (à court et moyen terme)
Orange marine	Infrastructures électriques Distribution efficace des bio et e-carburants Solutions de financement
LDA - ASN	Infrastructures électriques : branchement à quai à traiter en priorité. Réglementation à adapter aux différentes technologies : SOLAS, division 215, BV etc incluant la vie à bord, sécurité d'exploitation, les contraintes d'intégration Distribution des nouveaux carburants et cartographie des distributions GNL, Méthanol, Biogasoil (B10, B30, B100...), H2 à court et moyen termes.

Armateurs de France





4. Groupe de travail « Grands Ferries »



GT Grands Ferries Propos liminaires



Caractéristiques de la flotte

	Armateur 1	Armateur 2	Armateur 3	Armateur 4
				
Type de navire (longueur, puissance, UMS)	Longueur : 180 m Puissance : 24 420 (MP) + 5360 (GE) 32 500 UMS	Longueur : 180 m Puissance : 31 400 (MP) + 5630 (GE) 32 200 UMS	Longueur : 174 m Puissance : 28 240 (MP) + 4700 (GE) 29 200 UMS	Longueur : 177 m Puissance : 26 200 (MP) + 3900 (GE) 30 800 UMS
Répartition sur la façade	100% façade MANCHE/ATL	100 % MEDT – CORSE Lignes : Marseille – Corse/ Algérie / Tunisie	100 % MANCHE EST	100 % MEDT – CORSE
Moyenne d'âge	18 ans	24 ans	14 ans	25 ans
% de Construction française	10%	30%	20%	0%
Consommation par type de combustible en 2023 (m³)	HFO : 75 806 t MGO : 42 358 t GNL : 30 717 t	HFO : 76 878 t MGO : 18 978 t GNL : 2 656 t	HFO : 47 729 t MGO : 578 t GNL -	HFO : 42 211 t MGO : 4 370 t GNL -
Consommation par façade 2022 (m³ et port)	100% façade MANCHE/ATL	100 % façade MEDT (MRS)	100% façade MANCHE EST	100% façade MEDT (MRS)

Levier Efficacité énergétique Réduction de la trainée

RETROFIT	Revêtement des carènes	<p>Peut générer des gains d'efficacité allant jusqu'à 10%. En particulier, l'adoption de peintures au silicone est particulièrement adaptée pour les navires à passagers ayant des vitesses d'exploitation élevées.</p> <p>A noter que les contraintes liées au processus contractuel de construction neuve d'un navire font que celui-ci n'est pas nécessairement livré avec un système peinture adapté à l'exploitation du navire. Un passage en cale sèche est alors à recommander.</p>
	Modification du bulbe	<p>Le rebulbing, ou changement de bulbe, peut être couplé à un reblading. Il est toutefois plus difficile à mettre en œuvre (durée d'arrêt technique augmentée). Les gains sont de l'ordre de quelques %. Un frein à l'adoption reste le besoin d'interopérabilité des navires au sein d'une flotte, avec des vitesses d'exploitation différentes. Le design du navire doit rester suffisamment souple pour lui permettre d'opérer une ligne plus rapide.</p> <p>Des gains supérieurs peuvent être observés pour certains navires au design spécifique, approche au cas par cas.</p>
	Modification carène	<p>Un allongement des formes du navires (ducktail) peut réduire la trainée et apporter des gains significatifs (5/10%). Les travaux de modifications peuvent toutefois être lourd à mettre en œuvre et impacter les durées d'arrêt technique</p>
	Autres	<p>Des dispositifs type ESD (Energy Saving Device) ayant pour but une amélioration de l'écoulement en amont et/ou en aval de l'hélice ont été testés, avec un succès mitigé, les gains étant difficilement mesurables.</p> <p>L'utilisation de safrans profilés a donné des résultats probants, même si les gains intrinsèques sont difficilement mesurables, car souvent couplés avec d'autres mesures</p>
CONSTRUCTION NEUVE	Optimisation des formes	<p>Une étude hydrodynamique numérique (CFD) peut mener à des propositions simples ou complexes de modifications de design, avec des gains allant de 5 à 20%. Ces études doivent nécessairement prendre en compte le profil opérationnel envisagé pour le navire (vitesse de croisière). Elles ont donc un impact majeur sur la performance énergétique du navire.</p>

● Nécessaire
 ● Envisageable
 ● Non applicable
 ●

Levier Efficacité énergétique Optimisation du rendement propulsif

	Armateur 1	Armateur 2	Armateur 3	Armateur 4	Armateur 5
RETROFIT	<p>Le reblading est une pratique répandue, très efficace dès lors que le navire est opéré à une vitesse différente de sa vitesse de design. Couplé à une réduction de vitesse, les gains mesurés vont de 8% à 18% selon les navires</p> <p>Un frein à l'adoption reste le besoin d'interopérabilité des navires au sein d'une flotte de ferries, avec des vitesses d'exploitation différentes au sein de la même flotte. Le design du navire doit rester suffisamment souple pour lui permettre d'opérer une ligne plus rapide.</p> <p>De(s) propulseur(s) d'étrave sont systématiquement installés sur les grands ferries pour leur permettre de manœuvrer sans assistance de remorqueurs. La protection des tunnels de propulsion par des déflecteurs est un axe de travail pour plusieurs armateurs. Les résultats restent difficilement mesurables (de l'ordre de 1-2%)</p>				
CONSTRUCTION NEUVE					



Nécessaire



Envisageable

Non applicable



Levier Efficacité énergétique Optimisation de la consommation d'énergie à bord

	Armateur 1
ORC	Les ORC permettant de produire de l'électricité à partir de chaleur, ne sont pas répandus dans le secteur. En retrofit, le manque de place caractéristique de ce type de navire est un frein.
Usage MP/GE	L'optimisation de l'usage des moteurs de propulsion par rapport à celui des auxiliaires est un sujet d'étude largement répandu dans le secteur. Les navires ont en effet a minima 2, voire 4 MP, et souvent 3 GE. Les alternateurs attelés sont largement répandus et contribuent à l'optimisation de la consommation d'énergie à bord. L'arrivée de batteries permettant de fonctionner sur les points de fonctionnements optimaux va rendre ce point encore plus important
Eclairage	Le sujet de l'éclairage est plus important sur ce type de navire que pour d'autres secteurs (espaces passagers, garage). Le passage aux LED est déjà très répandu.
HVAC	Les ferries disposent de systèmes de ventilation pour les garages, qui peuvent être optimisés à l'aide de variateurs de vitesse. La régulation de la température des locaux est également un sujet plus important pour les ferries que pour d'autres secteurs
Chaudières récupération	Les chaudières de récupération sont généralement installées dès le neuvage, et sont quasiment la norme sur ce type de navire



Nécessaire





Envisageable

Non applicable



Levier Exploitation

Excellence opérationnelle et sobriété

RETROFIT & CONSTRUCTION NEUVE	
EXCELLENCE OPERATIONNELLE	<p>L'utilisation de routage météo se fait au cas par cas, selon les zones d'opérations. Elle est privilégiée sur les navires effectuant des traversées longues. </p>
	<p>Importance de l'optimisation des temps d'escale (voir en intro) </p>
SOBRIETE & REDUCTION DE LA VITESSE	<p>Les ferrries, dont l'exploitation est dimensionnée par des horaires fixes, sont très sensibles à ce point. Ce levier peut être mis en œuvre au cas par cas, mais ne devrait en aucun cas être imposé</p>



Nécessaire



Envisageable





Non applicable

Levier Exploitation

Nettoyage de coque et des hélices

Si applicable seulement

RETROFIT & CONSTRUCTION NEUVE	Tous les armateurs
NETTOYAGE DE COQUE	<p>Les navires à passagers sous pavillon français passent plus régulièrement en cale sèche et leur coque est donc nettoyée plus régulièrement. A noter que les peintures au silicone donnent des résultats parfois surprenants, avec un besoin faible de nettoyage. Le nettoyage à flot est effectué au cas par cas et permet des gains de vitesse, et donc de consommation, immédiats. </p>
NETTOYAGE DES HELICES	<p>Voir ci-dessus </p>



Nécessaire



Envisageable



Non applicable

Levier Energies et Infrastructures

Energies fossiles moins carbonées et transitoires GNL et/ou GNC

RETROFIT	Retrofit GNL à coût élevé car remotorisation, mais aussi cuves de stockage et réseaux de distribution
CONSTRUCTION NEUVE	<p>Mature techniquement, mais un investissement plus élevé, et des infrastructures/possibilités de soutage pas toujours présentes dans les ports, notamment sur les terminaux opérés par les ferries (peu de choix sur les possibilités de soutage, peu de navires de soutage adaptés)</p> <p>Effet de méthane slip à prendre en compte qui déprécie les effets positifs du GNL, notamment pour le <u>type de moteurs (semi-rapides) installés sur les ferries</u>. L'utilisation de valeurs par défaut, des émissions de méthane, non basées sur l'exploitation réelle et les niveaux de charge des moteurs, pénalise les choix qui ont été réalisés par les armateurs. Des méthodes de comptabilisation alternatives doivent pouvoir être validées dans le cadre réglementaire (par exemple, en se basant sur la moyenne des mesures réelles à bord, pondérée par la distribution de charge moteur).</p> <p>Le Gaz Naturel Liquéfié est utilisé ou considéré pour 3 des 4 armateurs. A ce jour, 3 navires sont opérés (2 BAI, 1 CL), 3 sont en construction (2 BAI, 1 CL), et 2 sont à l'étude (LM).</p> <p>Le GNL est apprécié pour sa maturité et sa capacité à répondre aux enjeux liés aux émissions locales, notamment pour des ferries dont les escales sont effectuées en zones urbaines et sa capacité à faire la transition vers des énergies moins carbonées : biométhane, e-CH4</p> <p>On note aussi une tendance vers GNL à s'associer à l'électrique : propulsion LNG-électrique, ou hybridation</p>



Nécessaire



Envisageable



Non applicable

Levier Energies et Infrastructures

Biocarburants liquides - gazeux

RETROFIT	<p>Le plus simple techniquement à mettre en œuvre, pas besoin de retrofit pour du biodiesel</p> <p>Cependant, le mix est limité à B25/B30 pour moteurs diesel (IAPP)</p> <p>Le potentiel d'incorporation est plus élevé pour du biométhane, mais la problématique de liquéfaction/disponibilité pour le maritime et la possibilité, pour le secteur, d'avoir recours à des garanties d'origines (seul « produit » disponible en quantités) sont cruciaux pour permettre la décarbonation du GNL.</p> <p>Aujourd'hui, le surcoût actuel comparé à du carburant d'origine fossile (2 à 3 fois plus cher) et sa disponibilité pour le secteur ne permettent pas d'envisager un recours accru à ce type de combustible.</p> <p>Le soutage de biodiesel est utilisé ou testé par certains armateurs. La logistique spécifique (stockage dédié, soutage par camions) engendre toutefois des coûts supplémentaires qui viennent s'additionner à la différence de prix entre fuel fossile et biofuel.</p> <p>Tous les armateurs reconnaissent le besoin d'intégration progressive de bio-carburants dans leur mix énergétique, à court et moyen terme.</p> <p>Le soutage de bio-LNG devrait être bientôt testé. Il est important de noter sur ce point que la souplesse du dispositif de garanties d'origine aurait un rôle important à jouer pour le développement du bio-méthane pour le maritime. Il n'y a en effet que peu d'intérêt énergétique/environnemental à consommer de l'énergie pour liquéfier du bio-méthane gazeux à des fins d'utilisation sur les navires comme bio-GNL, quand sur un autre point du réseau, dans un terminal GNL, on procède à la regazéification pour injection dans le réseau.</p>
CONSTRUCTION NEUVE	



Nécessaire



Envisageable



Non applicable

Levier Energies et Infrastructures E-carburants: Méthanol, Ammoniac, Hydrogène...

RETROFIT	<p>Des CAPEX et adaptations techniques trop élevées pour les incertitudes évoquées ci-dessous, notamment pour des ferries.</p>
CONSTRUCTION NEUVE	<p>maturité faible pour e-CH₃OH, e-NH₃, e-CH₄ et e-H₂ Tous les armateurs reconnaissent que les e-carburants devront être la principale part de leur mix énergétique d'ici 2040. Il reste cependant difficile d'envisager une discussion avec un producteur d'énergie pour inciter au développement de ces carburants, pour des raisons de coûts de production qui sont encore trop élevés pour être considérés. La mutualisation des besoins, avec un travail commun entre armateurs, est identifiée comme un moyen pouvant permettre d'accélérer le développement des e-fuels, tout en sécurisant les quantités nécessaires à la décarbonation progressive des navires de leur flotte Ce travail reste cependant tributaire de l'identification de l'e-fuel en question : e-méthane ? e-ammoniac ? e-méthanol ? A l'heure actuelle, à l'image de la même question se posant pour le shipping mondial en général, il n'y a pas de consensus qui se dégage au sein des armateurs de ferries français.</p>

● Nécessaire
 ● Envisageable
 ● Non applicable

Levier Energies et Infrastructures Electrification – Hybridation du navire

RETROFIT	<p>Types de projets d'électrification :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Retrofit : Installation de dispositifs pour connecter les ferries au réseau électrique à quai, réduisant les émissions pendant l'escale, conformément aux normes environnementales. - Batteries pour manœuvres : Utilisation de batteries (10 MWh) pour des opérations zéro émission en escale et manœuvres. Cette solution est cependant limitée pour les longues traversées en raison du poids des batteries. - Navires 100 % électriques : Option viable pour les courtes distances, bien que les limites d'autonomie et de poids des batteries demeurent des obstacles. <p>Capacité des ports : Les ports doivent fournir des puissances élevées pour alimenter les navires hybrides ou 100 % électriques, soit pour une charge simple (1-2 MW) ou une recharge de batteries (jusqu'à 20 MW), ce qui nécessite des infrastructures coûteuses.</p> <p>Normes de connexion : Les standards actuels limitent la puissance à 6,5 MVA par câble, ce qui pourrait nécessiter des adaptations des installations portuaires pour atteindre des puissances jusqu'à 20 MVA, entraînant des coûts accrus.</p> <p>Défis techniques : Les ferries doivent être équipés de multiples points de connexion pour s'adapter aux infrastructures, et l'automatisation des connexions est nécessaire pour optimiser les escales courtes.</p> <p>Problématique de fréquence : Les différences de fréquence (les flottes de ferries représentées étant aussi bien équipées en 50 Hz qu'en 60 Hz) nécessitent des convertisseurs coûteux, augmentant les pertes énergétiques et les coûts. Les investissements dans des convertisseurs de fréquence doivent être portés par les ports et non chacun des navires.</p> <p>Impact des véhicules électriques : L'électrification des véhicules transportés par les ferries impose des exigences de ventilation et de refroidissement accrues, ajoutant aux besoins énergétiques.</p> <p>Enjeux économiques : Les coûts élevés d'hybridation, les subventions limitées, le prix de l'électricité, la nécessité de renouveler les batteries tous les dix ans, freinent l'adoption des technologies électriques</p>
CONSTRUCTION NEUVE	<p>Plutôt matures techniquement, mais des investissements conséquents à faire côté navire, avec des ROI très longs.</p>

● Nécessaire
 ● Envisageable
 ● Non applicable

Levier Energies et Infrastructures Propulsion par le vent

RETROFIT	La structure même des Ro-Pax, avec des superstructures sur une partie importante de la longueur du navire, rend difficile l'installation de tels systèmes, en particulier en rétrofit
CONSTRUCTION NEUVE	faible intérêt lié à la vitesse d'exploitation des navires. Le respect des horaires étant crucial avec une clientèle passagers, le vélique n'est étudié par les armateurs Ro-Pax que pour de l'assistance à la propulsion Sur les lignes courtes (<4h), l'assistance vélique ne suscite pas d'intérêt car le temps de mise en œuvre diminue le retour sur investissement associé. Les traversées courtes empêchent également les possibilités d'aller chercher les zones ventées plus propices. Les traversées courtes sont d'autres part synonymes de trafic maritime transverse plus intense, zones où l'attention de l'équipage est dédiée en particulier à la veille anticollision. Sur les lignes longues (>4h), l'assistance vélique est ou a été à l'étude chez la majorité des armateurs. Toutefois, les vitesses d'opération de cette catégorie de navires sont un frein à l'adoption de tels systèmes, les gains envisagés étant de l'ordre de quelques pourcents. Sur des lignes opérées plus lentement, elle peut toutefois être une option intéressante.



Nécessaire



Envisageable



Non applicable

Thématiques particulières à travailler (*infrastructure, réglementation, formation, financement...*)

Branchement électrique à quai	Problématique de fréquence :Les différences de fréquence (les flottes de ferries représentées étant aussi bien équipées en 50 Hz qu'en 60 Hz) nécessitent des convertisseurs coûteux, augmentant les pertes énergétiques et les coûts. Les investissements dans des convertisseurs de fréquence doivent être portés par les ports et non chacun des navires.
Besoin en financement	- Les navires sont construits en majorité en Asie, ce qui bloque l'accès à de nombreux dispositifs de co-financements. - Concernant le courant quai, les dispositifs de financements visent en majorité les équipements portuaires. Ils devraient également inclure le rétrofit des navires, coûteux sur ce segment (>1 M€ par navire)

Démonstrateurs à déployer

Démonstrateur 1	<i>Ferry 100% électrique</i>	<i>Estimation du cout</i>
Démonstrateur2	<i>Solution vélique adaptée aux contraintes structurelles des ferries et à leurs opérations (retrofit / construction neuve)</i>	
Démonstrateur3	<i>Solutions décarbonées pour les infrastructures de branchement à quai des petits ports et/ou ports insulaires.</i>	
Démonstrateur4		
Démonstrateur5		